Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke
Aktiengesellschaft
Bibliothek:
Gruppe: II Yl
79

BHS II H 79-1

II.

Ueber die Wärme.

Ueber die

Wärme

und deren Verwendung

in den

Künsten und Gewerben.

Ein

vollständiges und nöthiges Handbuch

für

Physiker, Technologen, Fabrikanten, Mechaniker, Architekten,
Forst- und Hüttenmänner ꝛc.

von

E. Péclet,

Professor an dem Central-Gewerbsinstitute zu Paris u. s. w.

Aus dem Französischen übersetzt

und mit den

nöthigen Zusätzen für Deutschland versehen

von

Dr. C. F. A. Hartmann.

Erster Theil.

Mit 7 lithographirten Tafeln.

Braunschweig,

Verlag von Friedrich Vieweg.

1830.

BIBLIOTHEK DER K.B. OBERBERG-U. SALINEN-ADMINISTR.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorrede des Verfassers.

Die physischen Wissenschaften haben das Studium der allgemeinen Eigenschaften der Körper, die Auffindung der Gesetze, denen sie unterworfen sind, und die der Thatsachen einer höhern Ordnung, von denen diese Gesetze eine nothwendige Folge sind, zum Gegenstande.

Die sich in den Künsten und Gewerben darstellenden Erscheinungen sind von derselben Beschaffenheit, wie die, welche den Gegenstand der allgemeinen Physik bilden. Es folgt daraus, daß, wenn die allgemeine Physik vollständig wäre, d. h., wenn sie alle Grundsätze, alle Gesetze der Erscheinungen enthielte, und wenn zu gleicher Zeit die Analysis weit genug vorgerückt wäre, daß man mittelst derselben alle Folgerungen der allgemeinen Grundsätze, oder der bekannten Gesetze, erlangen könnte, die Physik der Künste und Gewerbe nur eine Anwendung der allgemeinen Physik sein würde.

Allein ohnerachtet der neuern Fortschritte der allgemeinen Physik in mehrern verschiedenen Theilen, ist diese Wissenschaft noch weit von dem Grade der Voll-

kommenheit, den wir voraussetzten, entfernt, und die algebraischen Methoden, welche bei allgemeinen Betrachtungen so große Vorzüge haben, sind nur in besondern und wenig zahlreichen Fällen anwendbar. Man wird sich leicht von der Unzulänglichkeit der Sätze der allgemeinen Physik überzeugen, wenn man irgend einen Zweig der Gewerbe speciell untersucht. Nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft wenigstens kann daher die Physik der Künste und Gewerbe nicht als eine bloße Anwendung der allgemeinen Physik angesehen werden.

Aus demselben Grunde müssen die Namen der auf die Künste und Gewerbe angewendeten Physik, Chemie und Mechanik, durch welche man gewöhnlich die Physik, Chemie und Mechanik der Künste und Gewerbe bezeichnet, nicht buchstäblich genommen werden, und dies um so mehr, da es in den Künsten und Gewerben keine Erscheinung giebt, in denen die Physik, die Chemie und die Mechanik nicht eine mehr oder minder wichtige Rolle spielen, und da oft die Erscheinungen in den Künsten und Gewerben, indem sie keinen Theil an der allgemeinen Physik nehmen, ganz specielle Untersuchungen erfordern; so war z. B. die Anwendung der Dämpfe, als bewegende Kraft, früher bekannt, als ihre physikalische Theorie.

So ist also das Studium der auf die Künste und Gewerbe angewendeten Physik, im Wesentlichen auf die

allgemeine Physik gestützt, besteht aber nicht in den einfachen Anwendungen der Grundsätze der Physik, Chemie und Mechanik. Die allgemeine Physik liefert der Gewerbs-Physik wirklich nur ihre allgemeinen, oft sehr unzulänglichen Grundsätze, und die Art der Untersuchung, wodurch sie in der neuern Zeit so große Fortschritte gemacht hat.

Jeder Zweig der Industrie erfordert specielle Untersuchungen, welche freilich in demselben Geist und auf dieselbe Methode, als in der allgemeinen Physik, gemacht werden müssen, die aber jedoch in mehrfacher Hinsicht davon verschieden sind.

1) Bei den Problemen der Gewerbs-Physik giebt es neue Elemente, die bei den Untersuchungen der allgemeinen Physik nicht immer vorkommen; diese Grundsätze sind der Aufwand an Zeit, an Kraft oder an Geld.

2) In der allgemeinen Physik sucht man überall allgemeine Gesetze und Formeln zu erhalten, und ist oft zu wenig aufmerksam auf die Schwierigkeit und selbst auf die Unmöglichkeit ihrer Anwendung in allen sich darbietenden verwickelten Fällen. Bei den Künsten und Gewerben hat man dagegen stets besondere Aufgaben zu lösen, und es ist oft weit besser, annähernde und empirische Gesetze von gewissen verwickelten Erscheinungeu aufzusuchen, als sie durch das Calcul von physischen Grundsätzen zu deduciren, und dies

um so mehr, da die bekannten analytischen Methoden oft unzulänglich sind.

3) Endlich erfordert die Gewerbs-Physik oft Untersuchungen, die wegen ihrer Besonderheit keinen Theil an der allgemeinen Physik nehmen können.

Vor ganz kurzer Zeit hatten die physikalischen Studien eine lediglich speculative Richtung, und die in die Gränzen der Zünfte eingezwängten Künste und Gewerbe, welche von dem am wenigsten aufgeklärten Theil der menschlichen Gesellschaft betrieben wurden, schritten gar nicht vorwärts. Seitdem sich aber die Freiheit auch auf die Gewerbe ausgedehnt hat, die Kenntnisse der allgemeinen Physik und der Untersuchungsgeist auch in die Werkstätten gedrungen sind, und die Gelehrten es nicht unwürdig gefunden haben, sich mit Gegenständen von materiellem Nutzen zu beschäftigen, hat die Industrie ungeheure Fortschritte gemacht und hat der Wissenschaft ihre Schuld abgetragen, indem sie neue Thatsachen zur Untersuchung dargeboten hat.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen, welche die Art und Weise, wie ich das Studium der verschiedenen Zweige der Industrie betrachte, hinlänglich darthun, komme ich zu dem eigentlichen Zweck dieses Werks.

Die Wärme ist eins der mächtigsten und in den Künsten und Gewerben am häufigsten angewandten

Agentien, und doch ist bis jetzt die meiste Anwendung derselben noch nach keinen gewissen, aus der Beobachtung deducirten Regeln gemacht worden. Oft gebrauchte man die nicht anwendbaren physikalischen Gesetze, und gewöhnlich einige einzelne practische Beobachtungen.

Um zu zeigen, wie viel bei der Theorie der angewandten Wärme noch zu thun sei, scheint es hinlänglich, zu bemerken, daß in fast allen Apparaten die hervorgebrachten Wirkungen von den Bewegungen der warmen Luft in den Leitungsröhren abhängen, und daß man bis jetzt ein lediglich speculatives Gesetz angenommen hatte, welches selbst als Theorie falsch war, und das, auch selbst verbessert, noch nicht ganz mit der Erfahrung übereinkommt.

Seit Jahren trug ich die auf die Künste und Gewerbe angewandte Chemie in einer der bedeutendsten Manufacturstädte Frankreichs, Marseille, vor, habe selbst eine große Anzahl von Bauen geleitet, und mich durch eigene Erfahrung überzeugt, wie viel noch zu thun übrig sei, um mit Sicherheit des guten Erfolgs die Erbauung und den Gebrauch der Wärmungs-Apparate zu leiten, und wie sehr nützlich es für die Industrie sein würde, eine Theorie der angewandten Wärme aufzustellen, die in allen Fällen zur Leitung dienen könnte.

Ich habe diesen Versuch auszuführen gesucht. Seine Schwierigkeiten habe ich mir vorher nicht verhehlt,

war aber auch weit entfernt, alle die zu erwarten, die ich beim Eindringen in die Details der zahlreichen Anwendungen der Wärme fand. Glücklicherweise erfordert aber die Gewerbs-Physik keine so scharfe Auflösungen, als die allgemeine Physik, und sie verlangt nur, daß man ihr für die Praxis hinlängliche Annäherungen liefere: ohnedies wäre es fast unmöglich gewesen, einen Schritt vorwärts zu gehen, so verwickelt sind die Erscheinungen.

Das Werk hat zwei Theile, von denen der erste die allgemeinen Grundsätze, der zweite deren Anwendungen enthält.

Die allgemeinen Principe umfassen: 1) die physikalische Theorie der Wärme; 2) die Theorie der Verbrennung und der Brennmaterialien; 3) die Theorie der Bewegungen der warmen Luft; 4) die Theorie der Kamine.

Der zweite Theil enthält: 1) die Dampferzeugung; 2) die Distillation; 3) die Verdunstung; 4) das Trocknen; 5) die Erwärmung der Gase; 6) die Erwärmung der Flüssigkeiten; 7) die Erwärmung der festen Körper; 8) die Abkühlung.

Ich hätte auch noch ein Kapitel über die Ventilation und über die Verbesserung der Luft in Hütten und andern Werkstätten hinzufügen müssen; allein da das Werk schon die gewöhnlichen Gränzen überschritten hat, so muß ich diesen Gegenstand zu einer besondern Arbeit aufsparen.

Der der physikalischen Theorie der Wärme gewidmete Abschnitt war unerläßlich, weil ich bei den andern Abschnitten des Werks fortwährend, sowohl auf die Grundsätze, oder auf die darin aufgezeichneten Zahlenresultate, zurückkommen muß. In diesem Abschnitte habe ich mich hauptsächlich bei der Theorie der Dämpfe aufgehalten, und habe auch Tafeln mitgetheilt, welche die elastische Kraft, den Druck auf ein Quadrat-Centimeter, die Dichtigkeit und das Volum der gesättigten Dämpfe in verschiedenen Temperaturen enthalten.

Durchsieht man die Inhaltsverzeichnisse, die jedem Bande vorhergehen, so wird man den Gang ersehen, den ich in jeder großen Abtheilung gefolgt, und in welche Einzelnheiten ich eingegangen bin.

Damit das Werk allen Lesern zugänglich sei, habe ich es vermieden, sowohl in den Anmerkungen unter dem Texte als zu Ende des ersten Bandes Entwickelungen anzuwenden, die algebraische Formeln erfordern. Im Texte habe ich bei den arithmetischen Operationen stets die bekannten algebraischen Zeichen angewendet [1]).

Man wird leicht einsehen, daß ich alle über die

---

1) = gleich,
+ plus,
— minus,
× multiplicirt durch.

Wärme vorhandenen Arbeiten benutzen und alles Wichtige auch hier aufnehmen mußte. Alle beschriebenen Apparate aber habe ich sorgfältig untersucht; habe aber auch hin und wieder Details über Gegenstände angeführt, über die ich anderer Meinung bin, die man jedoch aber kennen muß, um darüber Untersuchungen anstellen zu können.

Die Figuren haben, mit einiger Ausnahme, keinen Maaßstab; der Grund davon ist einfach. Es war mein Zweck, die Einrichtung der Gegenstände zu zeigen, und nicht der, Musterrisse zu geben, indem sowohl die absoluten als relativen Dimensionen in jedem Falle von vielen besondern Umständen abhängen. Uebrigens sind auch diese Zeichnungen hinreichend, weil ich mich im Texte stets bemüht habe, alle Theile der Apparate, unter allen vorkommenden Umständen, zu berechnen.

Vorwort des Uebersetzers.

Das Publikum verdankt die Verpflanzung des vorliegenden Werks auf deutschen Boden der geschätzten Verlagshandlung, welche die deutsche Bearbeitung des französischen Originals mir übertrug. Wie ich diese Aufgabe gelöst, darüber mag das Urtheil billiger sachvertrauter Richter entscheiden. Zusätze fand ich besonders im zweiten Abschnitte, bei den Brennmaterialien, zu machen nöthig; sie sind, nebst den benutzten Quellen, gehörigen Orts näher bezeichnet worden.

In dem Original ist natürlich das neufranzösische metrische Maaß- und Gewichtssystem angenommen worden, und man könnte mir den Vorwurf machen, daß ich es nicht auf das gewöhnliche Fußmaaß und Pfundgewicht reducirt habe. Wollte ich es nun auch unberücksichtigt lassen, daß die Umarbeitung der vielen Tabellen eine große Mühe verursacht und Veranlassung zu mancherlei gar nicht zu vermeidenden Fehlern gegeben haben würde; so würde die Sache schon deshalb Schwierigkeiten gehabt haben, weil in Deutschland noch immer eine Menge verschiedener Maaß- und auch Gewichtssysteme gebräuchlich sind. Daher zog ich es vor, auch in der Uebersetzung das metrische Maaß und Gewicht, als

bestes System der Vergleichung, anzunehmen, zumal für jeden einzelnen Fall Reductionen leicht sind. Reductionstabellen hier mitzutheilen, würde zu weit führen, jedoch dürfen auch die gewöhnlichsten Vergleichungen nicht vermißt werden.

1 Meter = 3,0784 Pariser Fuß.
1 Decimeter = 0,1 Meter.
1 Centimeter = 0,01 »
1 Millimeter = 0,001 » sehr nahe
= 0,0037 Pariser Zolle.

1 Meter = 3,187 Fuß Rheinländisch.
1 » = 3,281 » englisch.

Die Verhältnisse aller übrigen Fußmaaße zum Pariser und Rheinländischen werden Jedem, der das Werk benutzen will, bekannt, oder aus den vorhandenen Tabellen zu ersehen sein.

1 Kilogramme ist = 2,136 Cöllnisch. Pfunde, 1 Gramme = 0,06841 Loth, und mittelst dieser Angabe wird man leicht im Stande sein, das neufranzösische Gewicht auf das im größten Theile Deutschlands übliche Gewicht zu reduciren.

Blankenburg am Harz,
im August 1829.

Hartmann.

Inhalt.

Erster Theil. Allgemeine Grundsätze.

Erster Abschnitt.

Physikalische Theorie der Wärme.

		Seite
Erstes Kapitel.	Fühlbarer Wärmestoff	3
	§ 1. Strahlender Wärmestoff	3
	§ 2. Verbreitung der Wärme durch die Körper	11
	§ 3. Gesetze der Abkühlung	15
Zweites Kapitel.	Latente Wärme	24
	§ 1. Ausdehnung der Körper	24
	§ 2. Dichtigkeit der Körper	42
	§ 3. Von den Dämpfen	51
	§ 4. Specifische Wärme	70
Drittes Kapitel.	Messung der Temperatur	90
Viertes Kapitel.	Quellen der Wärme	102

Zweiter Abschnitt.

Von der Verbrennung und den Brennmaterialien.

Fünftes Kapitel.	Von der Verbrennung	111
Sechstes Kapitel.	Von den Brennmaterialien im Allgemeinen, und den angewandten Methoden, ihre Erheizungsfähigkeit zu bestimmen	120

Seite

Siebentes Kapitel. Von dem Holze..... 134

Achtes Kapitel. Von den Holzkohlen..... 154

Neuntes Kapitel. Von den Stein- und Braunkohlen..... 182

Zehntes Kapitel. Von den Koaks..... 198

Elftes Kapitel. Von dem Torfe..... 212

Zwölftes Kapitel. Von den Torfkohlen..... 216

Dreizehntes Kapitel. Von den Brennziegeln..... 221

Vierzehntes Kapitel. Von den Lohkuchen..... 222

Funfzehntes Kapitel. Vergleichung der verschiedenen Brennmaterialien..... 222

Dritter Abschnitt.

Bewegung der warmen Luft.

Sechszehntes Kapitel. Theorie der Bewegung der warmen Luft, ohne Berücksichtigung der Reibung..... 229

Siebenzehntes Kapitel. Theorie der Bewegung der warmen Luft in einer cylinderförmigen Röhre, aus der Erfahrung abgeleitet..... 241

Achtzehntes Kapitel. Bewegung der warmen Luft in einer cylinderförmigen, oben verengten Röhre..... 254

Neunzehntes Kapitel. Bewegung der warmen Luft in einem unten zusammengezogenen Kanal..... 259

Zwanzigstes Kapitel. Einfluß der Krümmung der Kanäle 269

Einundzwanzigstes Kapitel. Einfluß der in einem Kanale, durch den ein Strom warmer Luft geht, befindlichen Seitenöffnungen..... 270

Zweiundzwanzigstes Kapitel. Wirkungen, die durch das Zusammentreffen von Luftströmen hervorgebracht werden..... 277

Dreiundzwanzigstes Kapitel. Bewegung der kalten Luft in Leitungsröhren..... 279

Seite

Vierter Abschnitt.

Von den Kaminen oder Essen.

Vierundzwanzigstes Kapitel. Elemente, welche die Dimensionen der Kamine bestimmen..... 286

Fünfundzwanzigstes Kapitel. Gesetze der Abkühlung der Luft in den Essen..... 292

Sechsundzwanzigstes Kapitel. Bestimmung der Ausströmungs-Geschwindigkeit der Luft in einer Esse, wenn man deren Höhe, Durchmesser und die Temperatur der Luft an der Basis kennt..... 297

Siebenundzwanzigstes Kapitel. Bestimmung des geringsten Durchmessers einer Esse..... 299

Achtundzwanzigstes Kapitel. Die günstigsten Vorrichtungen zur Vermehrung des Zuges..... 308

Neunundzwanzigstes Kapitel. Construction der Essen..... 315

§ 1. Beschaffenheit der Materialien, Stärke Gestalt..... 315

§ 2. Freistehende Essen..... 320

§ 3. Essen in den Wohnungen..... 325

Dreißigstes Kapitel. Von den Wetteröfen..... 328

Einunddreißigstes Kapitel. Einfluß des Zustandes der Atmosphäre auf den Zug der Essen..... 333

§ 1. Einfluß der Winde..... 333

§ 2. Einfluß der Temperaturveränderungen... 337

§ 3. Einfluß des atmosphärischen Drucks..... 338

§ 4. Einfluß des hygrometrischen Zustandes der Luft..... 339

§ 5. Einfluß der Sonnenstrahlen..... 340

Zweiunddreißigstes Kapitel. Apparate, um den Zug der Essen dem Einfluß der Winde, der Sonne und des Regens zu entziehen... 342

§ 1. Apparate an der Mündung..... 342

§ 2. Apparate zum Schutz des Heerdes..... 348

* *

Seite

Erste Anmerkung. Bestimmung der Geschwindigkeit der warmen Luft in einer senkrechten Röhre, bei Berücksichtigung der Reibung..... 350

Zweite Anmerkung. Bestimmung der Geschwindigkeit an der verengten Mündung einer Esse..... 356

Dritte Anmerkung. Bewegung der kalten Luft in den Leitungsröhren..... 357

Vierte Anmerkung. Bestimmung der Temperatur an der Mündung einer Esse..... 360

Erster Theil.

Allgemeine Grundsätze.

Erster Abschnitt.

Physikalische Theorie der Wärme.

1. Das Wort Wärme hat eine mehrfache Bedeutung. Bald bezeichnet es ein eigenthümliches Gefühl, bald die Ursache, welche dasselbe hervorgebracht hat, und durch die zugleich Erscheinungen ganz anderer Natur entstehen; endlich gebraucht man es auch zur Bezeichnung aller, durch gleiche Ursache hervorgebrachten, Erscheinungen. Die Ursache der Wärme nennt man jedoch auch Wärmestoff.

Um nun die, aus der mehrfachen Bedeutung des Worts entstehende, Verwirrung zu vermeiden, gebrauchen wir das Wort Wärme zur Bezeichnung des unter diesem Namen bekannten Gefühls, und nennen die noch unbekannte Ursache, welche die Wärme hervorbringt, und alle andern sie begleitenden Erscheinungen Wärmestoff.

2. Ueber die Natur des Wärmestoffes sind zwei Hypothesen aufgestellt worden. Nach der ersten betrachtet man ihn als eine Flüssigkeit, deren äußerst feine Theilchen mit einer abstoßenden Kraft begabt sind. Es ist alsdann die geringere oder größere Anhäufung dieser Flüssigkeit in den Körpern, welche ihren Zustand, ihr Volum ꝛc. bedingt.

Nach der andern Hypothese nimmt man ebenfalls eine mit denselben physischen Eigenschaften begabte und den ganzen Raum erfüllende Flüssigkeit an; allein man betrachtet ihre Wirkung als Resultat der moleculären Vibrationen der Körper, als Schwingungen, die sich durch den Wärmestoff fortpflanzen, wie die Schwingungen des Schalls durch die Luft. Die wärmsten Körper sind daher diejenigen, in welchen die Schwingungen am schnellsten vor sich gehen.

3. Keine von diesen Theorien ist jedoch durch bekannte Thatsachen genügend dargethan worden; allein die physikalischen Gesetze der Wärme sind ganz unabhängig von diesen Hypothesen und bleiben sich gleich, man lasse die eine oder die andere zu. Da jedoch die erstere die einfachere ist und sich durch dieselbe die Erscheinungen leichter erklären lassen, so nehmen wir dieselbe an.

Ehe wir jedoch zur nähern Betrachtung der verschiedenen Erscheinungen der Wärme übergehen, wollen wir einige häufig angewendete Worte erklären.

4. Die Temperatur eines Körpers ist seine fühlbare Wärme. Der auf unsere Organe gemachte Eindruck, welcher zur Erklärung der Temperatur dient, kann kein Maaß derselben sein, indem die Eindrücke der Wärme und der Kälte nichts Absolutes in sich selbst haben, und stets das Resultat der Vergleichung mit dem vorangehenden Gefühle sind.

Unter den Wirkungen der Wärme ist die Ausdehnung diejenige, welche zum Messen ihrer Intensität am geeignetesten zu sein scheint. Daher sind auf diese Wirkung auch alle Instrumente, die man mit dem Namen Thermometer bezeichnet, gegründet. Es ist hier nicht der Ort, ihre Einrichtung zu erklären, indem dazu eine Kenntniß der ganzen Wärmetheorie erforderlich ist. Wir verstehen unter Thermometer ein Instrument, welches zur Wärmemessung dient, und deren in gleiche Grade getheilte Scala die Zunahme der Temperatur durch die correspondirende gleiche Zunahme des Volums der in dem Instrumente eingeschlossenen Flüs-

sigkeit angiebt. Der Nullpunkt der Scala correspondirt der festen Temperatur des schmelzenden Eises und der hundertste (oder nach der Reaumurschen Scala der achtzigste) Grad der des siedenden Wassers, bei einem atmosphärischen Drucke von 0,76 Metres oder 30 Pariser Zollen.

Erstes Kapitel.

Fühlbarer Wärmestoff.

5. Unter fühlbarem Wärmestoff verstehen wir denjenigen, welcher frei ist, auf unsere Organe das Gefühl der Wärme hervorbringt, und dessen Wirkungen durch das Thermometer gemessen werden können.

Wir wollen nun nach einander diejenige Wärme, welche sich durch den Raum, diejenige, welche sich im Innern eines Körpers bewegt, und endlich die Gesetze der Erwärmung und Erkaltung, die von diesen beiden Bewegungen des Wärmestoffes abhängen, untersuchen.

§. 1. Strahlender Wärmestoff.

6. Wenn ein Körper von irgend einer Temperatur in die kältere Luft oder in eine weit kältere Flüssigkeit kommt, so wird er auch kälter und erlangt nach einiger Zeit genau dieselbe Temperatur des Mittels, in welches er eingetaucht worden. Es geht aus dieser Thatsache hervor, daß ein Körper, der wärmer als die ihn umgebenden ist, ihnen nach und nach seinen Ueberschuß von Wärmestoff abtritt, um gleiche Temperatur mit ihnen zu erlangen.

7. Wird ein Körper in einen luftleeren Raum eingeschlossen, dessen Temperatur auch geringer ist, als die seinige, so erkaltet der Körper auch und setzt sich zuletzt ebenfalls ins Temperatur-Gleichgewicht mit dem ihn umschließenden Raume. Hieraus geht hervor, daß der Wärmestoff eines warmen, in einem leeren Raume isolirten, Körpers

den Raum, welcher ihn von den umgebenden Körpern trennt, durchschneidet. Man nennt diesen von allen Punkten der Oberfläche der Körper verbreiteten Wärmestoff: strahlenden Wärmestoff.

8. Der strahlende Wärmestoff zeigt sich nicht blos, wenn der Körper in einem leeren Raume befindlich, sondern auch, wenn er von Luft, verschiedenen andern Gasen und Flüssigkeiten umgeben ist.

9. Es würde schwer sein, die Eigenschaften des strahlenden Wärmestoffs in dem luftleeren Raume zu studiren. Es ist weit passender, sie in der Luft zu untersuchen, nicht allein weil die Versuche weit leichter ausführbar sind, sondern weil auch in dieser die Erscheinungen gewöhnlich vor sich gehen. Wir werden übrigens sehen, daß das Vorhandensein von Luft keinen andern Einfluß haben kann, als die Intensität der Wärmestoff-Strahlen zu vermindern, daß sie aber die Gesetze ihrer Bewegung nicht ändern kann.

10. Der strahlende Wärmestoff bewegt sich mit großer Schnelligkeit in gerader Linie und wird von glatten Flächen reflectirt; der einfallende und der reflectirte Strahl liegen beide in einer, auf der reflectirenden Oberfläche senkrecht stehenden, Ebene, und der Einfallswinkel ist dem Reflexionswinkel gleich [1]). Der Beweis dieser Eigenschaften des strahlenden Wärmestoffes beruht auf einer Eigenschaft der Hohlspiegel, die wir kennen lehren werden.

Es sei MN (Fig. 1) ein Theil der sphärischen Oberfläche, und A ein Punkt, von welchem die Strahlen ausgehen. Man zeigt durch die Geometrie sehr leicht, daß, wenn alle

---

[1]) Die Einfalls- und Reflexionswinkel sind diejenigen Winkel, welche durch die einfallenden und reflectirten Strahlen mit der auf der reflectirenden Oberfläche senkrecht stehenden, oder mit der Tangental-Ebene, oder mit der Oberfläche selbst, wenn sie eine Ebene ist, gebildet werden.

diese Strahlen die Eigenschaft besitzen, auf der Oberfläche von MN, unter einem dem Reflexionswinkel gleichen Einfallswinkel, zu reflectiren, die reflectirten Strahlen alle in einem Punkte F zusammentreffen, den man den Focus oder Brennpunkt nennt.

Wenn man nun, unter dieser Annahme, vor dem Spiegel MN (Fig. 2) einen warmen Körper K stellt und in den correspondirendem Brennpunkte ein Thermometer, so wird man sehen, daß dasselbe schnell steigt. Da man nun den warmen Körper K stets so stellen kann, daß die Entfernung desselben von dem Thermometer groß genug ist, die unmittelbare Einwirkung des ersteren auf das letztere fast aufzuheben; so folgt aus dem vorhergehenden Versuche, daß der Hohlspiegel in seinem Brennpunkte die von den warmen Körpern empfangene Wärme concentrirt. Da dies aber nicht stattfinden kann, indem sich die Wärme in gerader Linie bewegt, und da sie auf der Oberfläche des Spiegels reflectirt, indem sie einen dem Reflexionswinkel gleichen Einfallswinkel macht, so folgt daraus nothwendig, daß die strahlende Wärme diese Eigenschaft besitzt.

11. Um die Veränderungen der Temperatur bemerkbarer zu machen, und besonders damit die Angaben des Instruments unabhängig von den Temperatur-Veränderungen der dasselbe umgebenden Luft bleiben, stellt man gewöhnlich in den Brennpunkt einen von den beiden, sogleich zu beschreibenden, Apparaten.

Der erste, unter dem Namen des Thermoscops bekannt, wird dem Grafen Rumford zugeschrieben. Er besteht (Fig. 3) aus einer feinen Glasröhre (Haarröhre) AB, deren beide Enden nach einem rechten Winkel gekrümmt und mit zwei gänzlich verschlossenen und fast gleich großen Glaskugeln, die mit Luft angefüllt, versehen sind. In dem horizontalen Theile der Röhre ist eine Queckſilbersäule mn befindlich, welche den Inhalt der beiden Kugeln trennt. Man richtet den Apparat so ein, daß, wenn die beiden Kugeln in gleicher Temperatur befindlich sind, der Queckſilber-

inder in der Mitte der Linie AB befindlich ist. Bei dem geringsten Temperatur=Unterschiede der beiden Kugeln aber, verändert das Queckſilber seine Stelle und geht nach der Seite hin, deren Kugel die niedrigste Temperatur hat.

Der zu derselben Periode vom Professor Leslie erfundene Apparat (Fig. 4), der von seinem Erfinder den Namen Differential=Thermometer erhalten hat, besteht, wie Rumfords Thermoscop, aus einer zweimal gekrümmten Röhre AB, deren Enden auch in, mit Luft angefüllten, Kugeln auslaufen. Der einzige Unterschied zwischen beiden Instrumenten besteht darin, daß an dem Leslie's die beiden senkrechten Stücke länger sind und einander näherstehen, und daß der Index oder Zeiger eine hohe Säule von gefärbter Säure ist.

Beide Instrumente sind außerordentlich empfindlich; allein sie geben blos den Unterschied der Temperatur der beiden Kugeln an. Wenn man sie daher so stellt, daß eine von den Kugeln in dem Brennpunkte des Spiegels befindlich ist, so giebt das Instrument die geringste Temperatur=Verschiedenheit der Luft und des Brennpunktes an.

Wenn man nun bei dem Versuche (Fig. 2.), nachdem man in den Brennpunkt die Kugel eines Thermoscops gestellt hat, einen Schirm zwischen den Spiegel und den warmen Körper bringt, so fällt das Thermoscop plötzlich, und man kann die Zeit, welche den Augenblick, wo man den Schirm zwischen gestellt hat, von demjenigen trennt, in welchem das Thermoscop fällt, nicht abschätzen, der Raum zwischen dem warmen Körper und dem Spiegel und die Stellung des Schirmes seien, welche sie wollen.

12. Die strahlende Wärme durchschneidet aber nicht allein sehr leicht die Luft und die Gase, sondern auch eben so leicht feste, durchsichtige Substanzen, als Glas, Bergkrystall ꝛc. In allen Fällen aber geschieht dieser Durchgang immer auf Kosten der Intensität der Wärme der Strahlen, indem ein Theil derselben zur Erwärmung des Mittels angewendet wird. In der Luft ist die Verminderung der

Intensität der Strahlen sehr gering, sehr bedeutend aber bei den übrigen festen und flüssigen durchsichtigen Körpern; sie nimmt, wiewol weniger rasch, mit deren Dicke zu. Dies geht aus den zahlreichen Versuchen Delaroche's hervor. Dieser Physiker fand, daß die durch ein Blatt gegangenen Wärmestrahlen in einem weit geringern Verhältnisse abgenommen haben, als die durch ein zweites Blatt gegangenen. Derselbe Physiker fand auch, daß die Menge der durch die durchsichtigen Mittel absorbirten Wärme in dem Maaße abnehme, als die Strahlen von einem Körper von höherer Temperatur ausströmen. Eine gewöhnliche Glastafel z. B. fängt $^{17}/_{18}$ der von einem Körper von 180° ausgestrahlten Wärme auf, und wenn der Körper bis auf 400° erhitzt ist, reducirt sich diese Menge auf $^{6}/_{7}$, und selbst bis auf $^{1}/_{2}$, wenn die Temperatur die des Weißglühens ist, wie bei der Flamme.

13. Die Intensität der Wärmestrahlen nimmt in dem Maaße zu, als sie zu der Oberfläche, welche sie ausströmt, geneigt sind. Es sei AB (Fig. 5) eine ausstrahlende Oberfläche, und a b c d ꝛc. seien ihre Strahlpunkte. Zieht man nun aus diesen verschiedenen Punkten Linien, die unter einander parallel sind, so ist es evident, daß sie einander um so näher stehen, als sie mit der Oberfläche A B kleinere Winkel bilden. Hiernach würde, wenn die Strahlen gleiche Intensität behielten, ein Körper m durch die strahlende Oberfläche mehr erhitzt werden, als er in einer mehr schiefen Richtung befindlich ist. Oder man hat aus Versuchen gefunden, daß die Wärme, welche er aufnimmt, dieselbe bleibe, sein Platz sei auf dem aus seinem Mittelpunkte beschriebenen Kreise m m‴, welcher er wolle. Die Intensität der Strahlen muß daher in dem Maaße abnehmen, als sie sich einander mehr nähern, und da diese Näherung mit ihrer größern Neigung zunimmt, so muß, wie wir bemerkt haben, die Intensität der Strahlen abnehmen in dem Maaße, als

sie sich mehr zu der sie ausströmenden Oberfläche [1]) neigen. So nehmen die von dem Punkte A (Fig. 6) ausgehenden Strahlen von AB nach AY und AX an Intensität ab.

14. Einfluß der Beschaffenheit der Oberfläche der Körper auf die Reflexion, die Ausstrahlung und die Absorption der strahlenden Wärme. Man hat durch Beobachtung gefunden, daß die Körper den Wärmestoff um so besser reflectiren, je glatter ihre Oberflächen sind, und daß die absorbirenden und ausstrahlenden Eigenschaften zusammen im umgekehrten Verhältnisse zu der Reflexionskraft stehen.

Diese Versuche sind mittelst des Spiegelapparates (Fig. 2) gemacht worden. Um den Einfluß zu beobachten, welchen der Zustand der Oberfläche auf das Reflexionsvermögen hat, gebraucht man einen warmen, stets dieselbe Temperatur behaltenden Körper K, der immer gleich weit von dem Spiegel entfernt bleibt. Man stellt die Kugel des Thermoscops in den Brennpunkt des Spiegels, und indem man diesen nun bloß läßt, oder ihn mit Lichtruß, Papier, einem Silber- oder Zinnblättchen ꝛc. bedeckt, so geben die Veränderungen des Thermoscops an, wie sich die der reflectirenden Oberfläche verhalten.

Um den Einfluß der Oberfläche auf die ausstrahlende Kraft zu beobachten, bedient man sich eines Würfels von Weißblech (Fig. 8), dessen Seitenflächen mit verschiedenen

---

[1]) Die Intensität eines Strahls ist proportional dem Sinus des, durch seine und die Richtung der strahlenden Oberfläche gebildeten, Winkels. Es seien A und B (Fig. 7) zwei benachbarte strahlende Punkte, AC und BD zwei senkrechte, und AC′ und BD′ zwei geneigte parallele Strahlen. Bezeichnet man nun mit I die Entfernung AB der vertikalen Strahlen, und mit a den Winkel C′AB, so ist die Entfernung Bm der geneigten Strahlen = I sin. a. Da nun die Intensitäten im umgekehrten Verhältnisse mit der Entfernung stehen, so hat man, wenn man die Intensität der senkrechten Strahlen mit k, und die der geneigten mit X bezeichnet, das Verhältniß k : X = I : I sin. a; daher ist X = k sin. a.

Substanzen in dünnen Blättchen bedeckt sind. Man stellt den mit siedendem Wasser angefüllten Würfel vor den Spiegel, und beobachtet dann die verschiedenen, den verschiedenen dem Spiegel zugekehrten Seiten correspondirenden, Angaben des Thermoscops.

Man findet demnach für das relative Strahlungs-Vermögen folgende Zahlen:

Ruß	100
Wasser	100
Schreibpapier	98
Gemeines Glas	90
Tusch	88
Spiegelglas	85
Queckfilber	20
Gewalztes Blei	19
Polirtes Eisen	15
Zinn, Silber, Kupfer, Gold	12

Wird eine polirte metallische Oberfläche mit einer dünnen Lage Wasser, Oel oder Firniß bedeckt, so nimmt ihr Strahlungsvermögen bedeutend zu. Noch mehr wird die Wirkung durch eine zweite, und oft durch eine dritte Lage vermehrt; jedoch hat die Dicke eine gewisse Gränze, von welcher das Strahlungsvermögen wieder abnimmt.

Was nun die Versuche mit der absorbirenden Kraft betrifft, so braucht man nur die Beschaffenheit der Oberfläche der Kugel des Thermoscops zu verändern.

Das umgekehrte Verhältniß des Absorbirungs- und Reflexionsvermögens könnte noch weit leichter vorhergesehen werden, denn alle eine Oberfläche berührende Wärme wird entweder absorbirt, oder reflectirt. Je mehr daher absorbirt wird, je weniger wird reflectirt, und umgekehrt. Das Verhältniß des Absorptions- und Ausstrahlungsvermögens ist nicht dasselbe; die Erfahrung allein kann darthun, ob diese Kräfte zusammen zu- und abnehmen. Diese merkwürdige Thatsache kann nicht anders erklärt werden, als wenn man annimmt, daß die Oberflächen der Körper auf

gleiche Weise wirken, sowol äußerlich auf den Wärmestoff, der eindringen, als innerlich auf den, welcher ausströmen will.

15. Gegenseitige Strahlung der Körper. — Alle Körper, ihre Temperatur und die Beschaffenheit ihrer Oberfläche sei, welche sie wolle, strömen fortwährend und nach allen Richtungen Wärmestrahlen aus, deren Dichtigkeit und Intensität sowol von der Temperatur dieser Körper, als auch von der Beschaffenheit ihrer Oberfläche und von der Neigung der Strahlen zu ihrer Oberfläche abhängen. Zu gleicher Zeit fangen sie fortwährend auf ihrer Oberfläche die von den andern Körpern ausgeströmten Strahlen auf; ein Theil wird absorbirt, ein anderer reflectirt, und je nachdem nun die von jedem der beiden ausgeströmte Wärme größer, gleich oder viel geringer, als diejenige, welche sie absorbiren, ist, erkalten diese Körper, behalten ihre Temperatur, oder erhitzen sich. Man macht diese gegenseitigen Veränderungen mittelst eines aus zwei parabolischen Spiegeln bestehenden Apparates augenscheinlich, den wir beschreiben wollen, nachdem wir die Eigenschaften dieser Spiegel kennen gelehrt haben.

Es sei MN (Fig. 9) ein parabolischer Spiegel. In der Axe der Figur XY ist ein fester Punkt F vorhanden, den man mit dem Namen des Brennpunktes bezeichnet und der diese merkwürdige Eigenschaft besitzt. Alle von demselben ausgehende Strahlen, die gegen den Spiegel unter einem, dem Einfallswinkel gleichen, Reflexionswinkel reflectiren, werden unter einander und der Axe XY parallel. Eben so reflectiren nun alle einfallende Strahlen, die der Axe parallel sind, nach geraden, durch den Brennpunkt gehenden, Linien.

Wenden wir uns jetzt zu zwei parabolischen Spiegeln M und N (Fig. 10), deren Axen zusammenfallen. Man setze in den Brennpunkt F, von einem der beiden, einen warmen Körper, und in den Brennpunkt F' des andern ein Thermometer. Nach dem Vorhergehenden ist es klar,

daß alle von dem Brennpunkte F ausgehenden Strahlen, die gegen den Spiegel A reflectiren, der Axe parallele Strahlenbündel bilden, die von dem zweiten Spiegel aufgenommen und reflectirt werden, in dem Brennpunkte F zusammenkommen. Man kann mit diesem Apparate alle die Versuche wiederholen, von denen wir in Beziehung auf den Einfluß der Oberflächen auf das Ausstrahlungs-, Absorptions- und Reflexions-Vermögen geredet haben. Wenn der im Brennpunkt F gestellte Körper weit wärmer, als das Thermometer, welches im andern Brennpunkte befindlich, ist, so steigt das Thermometer, und selbst sehr schnell, obgleich die Entfernung der beiden Spiegel von einander beträchtlich ist. Ist dagegen der im Brennpunkte von F stehende Körper kalt, wie dies z. B. mit einer Eismasse, oder bei einem in einem dünnen gläsernen Gefäße befindlichen Frostgemenge der Fall ist, so sinkt das Thermometer. Diese letztere Erscheinung kann nicht anders erklärt werden, als wenn man annimmt, daß der kalte Körper und das Thermometer zugleich strahlen, und sich um so größere Wärmemengen zusenden, als ihre Temperatur höher ist; alsdann empfängt der kältere mehr Wärme, als er ausgiebt, und wird wärmer, und der wärmer giebt mehr ab, als er empfängt, und kühlt sich ab. Wir müssen daher aus diesem Experimente folgern, daß alle Körper, ihre Temperatur sei, welche sie wolle, fortwährend Wärme ausstrahlen, und auch fortwährend von den sie umgebenden Körpern aufnehmen, und daß die Abkühlung, die Erwärmung und die gleichbleibende Temperatur lediglich daher kommen, daß die Ausstrahlung geringer, größer oder der Absorption gleich sei.

§. 2. Verbreitung der Wärme durch die Körper.

16. Nachdem wir die Gesetze des freien Wärmestoffes bei seinem Ausgang aus den Körpern in dem Raume, welchen er durchläuft, und an den ihn reflectirenden und absorbirenden Oberflächen untersucht haben, wenden wir uns

nun zu den Bewegungen des Wärmestoffes in dem Innern der Körper selbst. Es ist dies zum Studium der Gesetze der Erwärmung und Erkaltung erforderlich; denn wenn die Temperatur eines Körpers von der des ihn umgebenden Mittels verschieden ist, so hängt seine Erwärmung oder Erkaltung nicht allein von den Erscheinungen der Ausstrahlung, Absorption und Reflexion, die auf der Oberfläche stattfinden, sondern auch von der Weise ab, wie die aufgenommene Wärme sich in ihrer Masse verbreitet, und wie diejenige mitgetheilt wird, welche auf ihrer Oberfläche ausstrahlt.

17. Verbreitung der Wärme durch die Gase. Wir sahen bei der Erwähnung der Versuche über die Wärmestoff-Strahlung der Körper, daß die Luft der Bewegung der Wärme keine Hindernisse in den Weg legt, und daß die von den Körpern ausgehenden Wärmestrahlen sie rasch durchschneiden. Wir können hieraus abnehmen, daß die Gase von der strahlenden Wärme ebenfalls durchdringlich sind. Jedoch erlöschen auf diesem Wege ein Theil von den Wärmestrahlen in der Luft, indem sie dieselbe erwärmen, und dies ist um so mehr der Fall, je niedriger die Temperatur der strahlenden Körper ist.

Wenn ein Theil des Gases schon erwärmt ist, so ist es wahrscheinlich, daß seine Theilchen die übrigen beständig durch die Strahlung erwärmen; allein es scheint, daß das Strahlungsvermögen der Gase sehr schwach sei. Die Erwärmung der Luft und der andern Gase geschieht hauptsächlich durch ihre unmittelbare Berührung mit den erwärmten festen Körpern und durch die von der Ungleichheit der Temperatur herrührende Bewegung. Wenn man z. B. einen warmen Körper in die Luft stellt, so werden die mit selbigem in unmittelbare Berührung kommenden Schichten erwärmt, werden specifisch leichter, als die übrigen, und erheben sich; sie werden darauf von andern ersetzt, die, nachdem sie erwärmt worden sind, sich ebenfalls erheben.

Es geht hieraus hervor, daß man eine Luftmasse nur

sehr schwer mittelst einen in deren obern Theil gestellten Körper erwärmen kann; denn die durch die unmittelbare Berührung erhitzten Schichten bleiben an ihrer Stelle, und die darunter befindlichen können nun durch die Strahlung des festen Körpers und die der obern Schichten erwärmt werden. Man wird leicht einsehen, daß auf diese Weise die Luft nie gleichmäßig erwärmt werden kann, sondern daß die Wärme von oben nach unten zu abnimmt.

18. Wärme=Verbreitung durch die flüssigen Körper. Die strahlende Wärme dringt nur schwierig und auf eine geringe Weite in flüssige Körper ein, und auf diesem kurzen Wege erlöschen die Strahlen noch größtentheils. Zu gleicher Zeit ist die Strahlung von Theilchen zu Theilchen in den Flüssigkeiten sehr schwach, denn diese Körper erwärmen sich von oben nach unten, wenigstens in einer gewissen Tiefe, nicht bemerkbar. Die einzige wirksame Art und Weise der Wärme=Verbreitung durch die flüssigen Körper ist, wie bei den Gasen, die, welche aus den durch die ungleiche Dichtigkeit bedingten Bewegungen entstehen, und diese ungleiche Dichtigkeit ist wiederum Folge der ungleichen Temperatur. Wenn eine Flüssigkeit an ihrem untern Theile erwärmt wird, so bilden sich zwei Ströme, der eine durch die aufsteigenden warmen Schichten und der andere durch die hinabgehenden kalten. Man kann diese beiden Ströme augenscheinlich machen, wenn man in die Flüssigkeit Sägespäne oder andern Staub, dessen Dichtigkeit wenig verschieden von der ihrigen ist, wirft: beide Ströme ziehen die festen Theilchen von unten nach oben und von oben nach unten.

19. Verbreitung der Wärme durch die festen Körper. Die festen Körper lassen, wie die flüssigen, die strahlende Wärme nur auf eine geringe Weite in sich eindringen, und auf diesem Wege erlöschen die Strahlen sehr schnell. Da die Theilchen der festen Körper ständig sind, so folgt daraus nothwendig, daß sich die Wärme in der

Masse nur durch Strahlung von Theilchen zu Theilchen verbreiten kann.

Das Wärmeleitungs=Vermögen der festen Körper ist sehr verschieden. Es ist allgemein bekannt, daß man eine Glasröhre gar nicht weit von der Stelle entfernt, wo sie geschmolzen wird, ohne sich zu verbrennen in der Hand halten kann; während, wenn eine Eisenstange an dem einen Ende rothglühend gemacht wird, man nur sehr weit davon sie zu halten im Stande ist.

Man kann das Leitungsvermögen der verschiedenen festen Körper durch folgendes Experiment deutlich machen. Ein länglich viereckiger Kasten von Weißblech, M (Fig. 11), ist an der einen Seite mit einer Reihe von kleinen Röhren versehen, in welche einander gleiche Cylinder, a, b, c, d, e, f, g, von verschiedenen Substanzen gesteckt werden. Man taucht sie alle zugleich in geschmolzenes Wachs und zieht sie schnell heraus, worauf die dünne Wachsschicht, welche sie bedeckt, durch Abkühlen fest wird. Ist dies geschehen, so füllt man den Kasten mit siedendem Oele an, so daß sich die Wärme in den Cylindern verbreitet, und man urtheilt von der Schnelligkeit, mit welcher das Wachs auf jedem von ihnen schmilzt, auf die Schnelligkeit, mit welcher sie die Wärme verbreiten.

Nach den Versuchen von Ingenhouß sind das Gold und das Silber unter den Metallen die besten Wärmeleiter; darauf kommen das Kupfer, das Zinn und das Platin mit fast gleichem Grade des Leitungsvermögens, dann das Eisen, der Stahl und das Blei.

Nach den neuern Versuchen von Despretz (Poggendorffs Annalen, Bd. XII. S. 282) kann das Leitungsvermögen dieser verschiedenen Substanzen annähernd durch folgende Zahlen ausgedrückt werden:

Gold	1000,0
Silber	973,0

Platin	981,0 [1])
Kupfer	898,2
Eisen	374,3
Zink	363,0
Zinn	303,9
Blei	179,6
Marmor	23,6
Porzelan	12,2
Ziegel- und Ofenmasse	11,4

Sehr gar gebrannte Holzkohle und unbewegliche Luft sind noch schlechtere Leiter, als die Ziegeln. Von allen Körpern lassen aber diejenigen am schwierigsten die Kälte fahren, die aus Fasern bestehen, welche sich nur an einer geringen Menge von Punkten berühren, wie Stroh, Wolle, Baumwolle, Federn ꝛc. Diese Eigenschaft scheint besonders davon abzuhängen, daß die dazwischen befindliche Luft sich nicht erneuert.

§. 3. Gesetze der Abkühlung.

20. Wenn ein warmer fester Körper in die Luft gebracht wird, so hängt die Geschwindigkeit seiner Abkühlung von einer großen Anzahl von Elementen ab. Die Wärme zertheilt sich auf zweierlei verschiedene Weise, durch die Strahlung und durch die unmittelbare Berührung der Luft. Die Strahlung hängt von der Natur und von dem Zustande der Oberfläche ab; die Abkühlung durch die Berührung der Luft, von der Dichtigkeit dieser Flüssigkeit. Beide Arten von Wärmeverlust sind augenscheinlich nach der Leitbarkeit und der Dicke des Körpers verschieden. Bei flüssigen und gasförmigen Körpern hat das Leitungsvermögen auf die Abkühlung fast gar keinen Einfluß, indem die Masse eine gleichförmige Temperatur behält.

---

[1]) Diese Angabe ist sicher unrichtig, denn es ist bekannt, daß das Wärmeleitungs-Vermögen des Platins unter dem des Kupfers steht; wahrscheinlich soll die Zahl 381,0 heißen. H.

21. Die ersten Versuche über die Abkühlung verdanken wir Newton. Um sie zu beobachten, bediente er sich des Apparates (Fig. 12), bestehend aus einem dünnen cylindrischen Gefäße, welches mit siedendem Wasser angefüllt war, und das oben in einer Röhre endigte, die ein Thermometer aufnahm, dessen Höhen er in bestimmten Zeiträumen beobachtete. Newton fand demnach, daß der Wärmeverlust in jedem Augenblicke proportional der höhern Temperatur über die der umgebenden Luft sei. Lange Zeit hat man an die Richtigkeit dieses Gesetzes geglaubt, als man es aber genau untersuchte, fand man, daß es nur in dem Falle richtig sei, wenn die Temperatur des Körpers die der umgebenden Luft nur um 45 bis 50° übertreffe. Bei einer größern Differenz ist es unrichtig, und dies um so mehr, als die Temperatur-Verschiedenheit beträchtlicher ist.

22. Mehrere Physiker haben das wahre Gesetz der Abkühlung in der Luft zu entdecken gesucht; allein da diese Erscheinung sehr verwickelt ist, durfte man nur dahin zu gelangen hoffen, wenn man nach und nach das Gesetz der Abkühlung in dem luftleeren Raume, und dann die lediglich durch den Einfluß der Luft bewirkte bestimmte. Dies haben die Herren Dulong und Petit in ihrer eben so genauen, als sinnreichen Arbeit, welche sie im Jahre 1818 der Pariser Akademie vorlegten und von der wir hier nur die Resultate mittheilen, gethan.

Gesetze der Abkühlung irgend einer in einem verschlossenen Gefäße befindlichen und von einer luftleeren Hülle, von irgend einer festen Temperatur, umgebenen Flüssigkeit.

Erstes Gesetz. Könnte man den Körper in eine Luftleere stellen, der von einer Substanz umgeben wäre, der die Fähigkeit des Strahlens fehlte, so würden die Geschwindigkeiten des Abkühlens in geometrischer Progression, die Temperaturen aber in arithmetischer abnehmen.

Zweites Gesetz. Bei gleichbleibender Temperatur der Umhüllung nehmen die Geschwindigkeiten der Abküh-

lung für das Uebermaaß der Temperatur in arithmetischer Progression, wie die Glieder einer geometrischen Progression, um eine bestimmte Zahl vermindert, ab. Diese für alle Körper gleiche Zahl ist 1,0077.

Drittes Gesetz. Die absoluten Geschwindigkeiten der Abkühlung nehmen, bei gleichem Uebermaaß der Temperatur, in geometrischer Progression zu, wogegen die Temperatur der umgebenden Hülle in arithmetischer Progression wächst. Das Verhältniß der Progression ist noch für alle Körper 1,0077.

Gesetze der Abkühlung, die nur von der bloßen Berührung des umgebenden Gases abhängen.

Erstes Gesetz. Die Geschwindigkeit der von der bloßen Berührung des Gases abhängenden Abkühlung, ist unabhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche der Körper.

Zweites Gesetz. Die Geschwindigkeit der Abkühlung, welche von der bloßen Berührung einer Flüssigkeit abhängt, wechselt in geometrischer, das Uebermaaß der Temperatur ebenfalls in geometrischer Progression. Wenn das Verhältniß dieser zweiten Progression 2 ist, so ist das der ersten 2,35, die Natur des Gases und sein Elasticitäts-Vermögen sei welches es wolle. Dieses Gesetz kann auch so ausgedrückt werden, daß man sagt, die von dem Gase aufgenommene Wärme sei in allen Fällen, proportional dem Uebermaaß der Temperatur des Körpers, auf die Potenz 1,233 erhoben.

Drittes Gesetz. Das Abkühlungs-Vermögen eines Gases ist, bei übrigens gleichen Umständen, einer gewissen Potenz des Drucks proportional. Diese ist 0,45 für die Luft, 0,315 für das Wasserstoffgas, 0,517 für die Kohlensäure, und 0,501 für das gekohlte Wasserstoffgas.

Viertes Gesetz. Das Abkühlungsvermögen eines Gases wechselt mit seiner Temperatur, so daß, wenn das Gas sich ausdehnen kann und stets gleiche Elasticität be-

hält, das Abkühlungsvermögen durch die Verdünnung des Gases so viel vermindert, als es durch seine Erwärmung vermehrt wird. Es hängt demnach eigentlich von der Spannung ab.

Das Abkühlungs-Gesetz der flüssigen Körper in der Luft besteht, bei Berücksichtigung der Strahlung und der Berührung der Luft, aus allen den vorhergehenden. Es ist zu verwickelt, um in die gewöhnliche Sprache übersetzt werden zu können.

23. Die jetzt dargelegten Gesetze sind, wie schon bemerkt, nur auf flüssige Massen anwendbar, indem sich in diesen Körpern die Wärme durch die Bewegung, welche sie veranlaßt, mit einer außerordentlichen Leichtigkeit verbreitet. Man kann daher in den meisten Fällen die flüssigen Massen, als zu allen Zeiten und an allen Punkten eine gleiche Temperatur habend, ansehen. Die Unbeweglichkeit der verschiedenen Theile der festen Körper ist der Grund, daß die Wärme nur durch die Strahlung der Theilchen in das Innere dringen kann, welches nothwendig eine Ungleichheit der Temperatur, während der Dauer der Abkühlung herbeiführt. Jedoch sind die vorhergehenden Gesetze auf alle festen Körper von sehr geringer Masse anwendbar, indem man deren Temperatur als an allen Punkten merklich gleichförmig ansehen kann.

Man sieht daher ein, wie sehr verwickelt die Gesetze der Abkühlung sind.

24. Was nun die Erwärmung betrifft, so sind deren Gesetze offenbar dieselben, wie die der Abkühlung.

Fourier hat alle Umstände der Abkühlung und Erwärmung der festen Körper bestimmt, indem er von der Hypothese ausging, daß die Strahlung eines Massentheilchens proportional der Differenz zwischen seiner und der Temperatur der es umgebenden Massentheilchen sei. Dieses Verhältniß ist nicht ganz genau, jedoch von hinlänglicher Annäherung an die Wahrheit, wenn die Differenzen der Temperatur nicht bedeutend sind. Die Gränzen dieses Werks

erlauben es nicht, die Arbeit des gelehrten Mathematikers zu wiederholen. Wir begnügen uns damit, die allgemeinen Erscheinungen, welche die Abkühlung und Erwärmung der festen Körper begleiten, zu beschreiben.

25. Wenn ein fester Körper von irgend einer Gestalt in einem Mittel von constanter Temperatur erkaltet, so ist es augenscheinlich, daß die Temperatur des Körpers von der Oberfläche nach dem Innern zu zunehmen müsse, daß aber die Temperatur-Unterschiede sich in dem Maaße vermindern, als die Abkühlung vorschreitet, und daß endlich, nach längerer oder kürzerer Zeit, die Temperatur aller Punkte der Masse gleichförmig und gleich mit der des umgebenden Mittels werden wird. Alsdann erst wird die Abkühlung vollkommen sein.

26. Wenn eine feste Masse von gleichförmiger Temperatur ganz in Mittel von höherer Temperatur gestellt wird, so ist es ebenfalls augenscheinlich, daß die Temperatur des Körpers von der Oberfläche nach dem Mittelpunkte zu abnimmt, daß diese Unterschiede mit der Zeit geringer werden, und daß nothwendig ein Zeitpunkt eintreten muß, an welchem alle Punkte des festen Körpers eine dem sie umgebenden Mittel gleiche Temperatur erlangen werden.

27. Wenn ein fester Körper von irgend einer Gestalt, mittelst eines constanten Brennpunktes, blos an einem Punkte seiner Oberfläche erwärmt wird, so erwärmen sich die unter diesem Punkte befindlichen Theile des Körpers durch Mittheilung; allein da sich jeder von den Punkten der Oberfläche, sowol durch Strahlung, als durch Berührung des umgebenden Mittels abkühlt, so kommt nothwendiger Weise für jeden derselben ein Zeitpunkt, an welchem die Menge der durch diese Abkühlung verloren gehenden Wärme derjenigen gleich sein wird, welche er durch Mittheilung erhält. Alsdann wird seine Temperatur constant, und alle von dem Brennpunkte erhaltene Wärme geht durch den Körper, um sich in dem, selbigen umgebenden, Mittel zu verbreiten. In diesem Zustande wird die constante Tem-

peratur eines Punktes um so niedriger sein, je mehr sie von der Oberfläche, welche die unmittelbare Einwirkung des Brennpunktes empfängt, entfernt ist.

28. Die Theorie der Strahlung und der Abkühlung, die wir auseinandergesetzt haben, giebt uns die Erklärung einiger merkwürdigen Erscheinungen, von denen man lange Zeit hindurch nur sehr unbestimmte Begriffe hatte.

29. Erklärung des Thaues und des Reifes. Der Thau ist ein feuchter Dampf, welcher sich des Morgens und Abends auf der Erde, so wie auf den Blättern und Pflanzen absetzt. Der Reif ist weiter nichts als Thau, welcher so erkaltet ist, daß er gefriert.

30. Die sich aus der Atmosphäre niederschlagenden Dämpfe sind nur bei ruhigem und heiterm Himmel bemerkbar. An freien Stellen sind sie weit häufiger, und weniger an solchen Orten, an denen man nur einen Theil des Horizonts übersehen kann. Unter gleichen Umständen präcipitiren sich diese Dämpfe nicht auf allen Körpern gleich stark. Diejenigen, welche Licht strahlen, bedecken sich weit mehr damit, als die übrigen. Wenn man z. B. Tafeln von Glas und von einem Metalle dem Thau aussetzt, so findet man, obgleich beide dicht neben einander liegen, die ersten mit einer großen Menge verdichteter Dämpfe bedeckt, während letztere trocken bleiben, oder nur wenig befeuchtet werden. Wenn man gegen diese Tafeln sehr empfindliche Thermometer mit flachen Reservoiren, damit die Berührung an mehrern Punkten stattfinde, hält, so bemerkt man, daß die mit Thau bedeckten Tafeln eine niedrigere Temperatur, als die Luft haben, während die Temperatur der Metallplatten fast dieselbe der sie umgebenden Luft ist.

31. Es ist demnach augenscheinlich, daß der Niederschlag der atmosphärischen Dämpfe auf den verschiedenen Körpern von ihrer Abkühlung abhängt. Man hat daher zweierlei zu untersuchen: 1) wie die Abkühlung der Körper diesen Niederschlag der Dämpfe bewirken kann; 2) wie unter den Umständen, welche den Thau begleiten, die Abküh-

lung der Körper, auf denen sich die Dämpfe condensiren, bewirkt wird.

32. Die Luft enthält, wie wir später darthun werden, stets Wasserdämpfe, und die Menge, die sie davon auflösen kann, hängt von ihrer Temperatur ab. Ist die Luft vollkommen mit Wasserdünsten gesättigt, so bringt die geringste Verminderung der Temperatur die Verdichtung von einem Theile dieser Dämpfe hervor. Ist die Sättigung aber nicht vollkommen, so bedarf es zur Präcipitation eines Theils der Dünste, eine um so beträchtlichere Verminderung der Temperatur, als die Luft von dem Grade der Sättigung mehr entfernt ist. Wenn wir weiter unten von den Dünsten reden, so werden wir in die nothwendigen Einzelnheiten eingehen; jetzt begnügen wir uns damit, diese Thatsache durch einige Beispiele darzuthun.

33. Wenn man während des Sommers kaltes Wasser in einem gläsernen Gefäße hinstellt, so bedeckt sich dessen äußere Oberfläche sogleich mit kleinen Wassertropfen. Dieses Wasser kann von der innern Flüssigkeit nicht herrühren, da das Glas für das Wasser undurchdringlich ist. Es kommt daher aus der Luft, deren mit dem Gefäß in Berührung stehende Schichten erkaltet waren und die Dämpfe, die sie nicht mehr aufgelöst enthalten können, dem flüssigen Zustande überlassen. Auch bemerkt man, daß die sich niederschlagende Dämpfemenge um so größer ist, je niedrigerer die Temperatur der in dem Gefäße eingschlossenen Flüssigkeit ist.

34. Wenn zwischen der äußern und der Luft in einem Zimmer ein großer Temperatur-Unterschied stattfindet, so bedecken sich die Fensterscheiben an der innern Seite mit verdichteten Wasserdämpfen, und wenn die äußere Temperatur unter dem Gefrierpunkte steht, so gefrieren die abgesetzten Dämpfe und krystallisirten in Farrenkräuter ähnlichen Gestalten. Diese Erscheinung, welche sich im Winter täglich erneuert, kann augenscheinlich auf keine andere Weise erklärt werden, als hier geschehen ist.

35. Daher können wir aus diesen Thatsachen die Fol-

gerung machen, daß stets dann, wenn ein Körper, der bedeutend kälter als die Atmosphäre ist, dieser ausgesetzt wird, sich auf dessen Oberfläche eine mehr oder minder dicke Schicht von Dämpfen absetzt.

36. Es ist uns nun noch übrig, die Ursache der Erkaltung kennen zu lernen. Die Uuustände, welche den Niederschlag des Thaues begleiten, geben selbst an, wo die Ursache vorhanden sei. Wirklich muß die Luft ruhig, der Himmel rein und der Horizont des Gegenstandes ausgedehnt sein: oder welches kann der Einfluß des Himmels auf die Temperatur eines Körpers sein? Er nimmt die von den Körpern ausgehenden Wärmestrahlen auf und sendet ihr keine zurück, denn das Strahlungsvermögen der Gase ist sehr gering. Wenn daher die Sonne unter dem Horizont ist, so wird die Abkühlung der Erde durch ihre Strahlung gegen den Himmel nicht wieder ausgeglichen, die an der Erdoberfläche befindlichen Körper müssen sich also abkühlen, und dies um so mehr, je leichter sie strahlen.

37. Man begreift nach dem Gesagten leicht, daß sich der Thau nur dann absetzen kann, wenn die Sonne unter dem Horizont ist, weil sie, so lange dies nicht der Fall ist, den Körpern auf der Erde die Wärme, welche sie durch ihre Strahlung verloren haben, ersetzt; daß es ferner bei bedecktem Himmel, wegen des Strahlens der Wolken, gar nicht oder doch nur wenig thauen; daß sich fernerhin der Thau nur an offenen Orten absetzen könne, denn da die Abkühlung durch Strahlung gegen den Himmel hervorgebracht wird, so muß auch die Weite derselben so groß als möglich sein; daß sich endlich der Thau nur auf diejenigen Körper absetzen könne, die ein starkes Strahlungsvermögen besitzen, indem sich diese am meisten abkühlen.

38. Die vortheilhaftesten Umstände zur Hervorbringung einer bedeutenden Abkühlung durch die bloße Strahlung eines Körpers gegen den Himmelsraum besteht darin, ihn in den Brennpunkt eines gegen den Himmel gerichteten Hohlspiegels zu bringen und den Spiegel auf schlechte

Wärmeleiter, als Stroh, Wolle, Haare, Dunen ꝛc., zu legen. Da sich durch dieses Mittel die ganze Strahlung des Körpers entweder unmittelbar, oder durch Reflexion des Spiegels, gegen den Himmel richtet und die ihn umgebenden Körper nur eine geringe Menge von der durch Strahlung verlornen Wärme ersetzen, so erzeugt man auf diese Weise eine beträchtliche Abkühlung.

39. In Bengalen macht man seit undenklichen Zeiten durch einen ähnlichen Prozeß Eis. Man setzt flache, oben offene und nicht glasurte thönerne Gefäße auf lockere Haufen gehackten Strohes, und in ruhigen und heitern Nächten ist die Erkaltung so, daß das Wasser gefriert.

40. Wir haben schon weiter oben des Niederschlags der Dünste gegen die Fensterscheiben eines Zimmers erwähnt, die durch den Unterschied der Luftschichten, welche die beiden Oberflächen des Glases berühren, entsteht. Wir lassen jetzt noch einige wichtige, von Benedict Prévot gemachte, Beobachtungen folgen.

41. Wenn man einen Theil von einer Fensterscheibe auf der warmen Seite mit Zinnfolio bedeckt, so setzen sich auf dem Metalle mehr Dünste ab, als auf denjenigen Theil der Scheibe, welcher unbedeckt ist. Und wenn dagegen die Zinnfolie auf der Seite der kalten Luft befindlich ist, so setzen sich auf der Seite der Scheibe, welche der metallischen Folie gegenüber ist, fast gar keine Dämpfe ab. Die Erklärung dieser Erscheinung läßt sich aus dem Vorhergehenden leicht ableiten. Da im ersten Falle die Metallfolie auf der Seite der warmen Luft ist, so verhindert sie die Scheibe nicht, zu erkalten, sondern sie beschleunigt sogar die Abkühlung desjenigen Theils, den sie bedeckt; denn da das polirte Metall ein großes Reflexions-Vermögen hat, so schickt sie die Strahlen in die warme Luft zurück, welche daraus zu entweichen suchen, wogegen die Strahlen der warmen Luft leicht in den unbedeckten Theil der Scheibe eindringen und ihre Abkühlung zurückhalten. Es folgt daraus nothwendig, daß die Dünste sich eher und in größerer Menge

an dem Metalle absetzen können. Im zweiten Falle ist es augenscheinlich, daß sie durch ihr geringes Strahlungs-Vermögen die Scheibe sich abzukühlen verhindert, und aus diesem Grunde setzen sich auf dem ihr gegenüberliegenden Theile der Scheibe weniger Dünste ab, als auf den entblößten Theilen.

Zweites Kapitel.

Latente Wärme.

42. Der in einen Körper dringende Wärmestoff bringt in demselben zwei distincte Wirkungen hervor; er erhöhet seine Temperatur und treibt seine Massentheilchen auseinander. Man kann diese beiden Wirkungen als jede von einem Theile des Wärmestoffes des Körpers ansehen, von denen der eine allein die Veränderungen der Temperatur und der andere die Veränderungen in der Entferung der Massentheilchen von einander hervorbringt. Dieser erstere Theil, von dem Wärmestoffe eines Körpers, wurde mit dem Namen *fühlbare* oder *freie Wärme* bezeichnet, wogegen wir den zweiten die *latente Wärme* nennen. Daher ist die latente Wärme eines Körpers derjenige Theil seines Wärmestoffs, der, außer der Temperatur, alle übrigen Erscheinungen hervorbringt.

43. Wir wollen nun in dem Folgenden die Ausdehnung der Körper in ihren verschiedenen Zuständen, die Dämpfe, dann die Verhältnisse, welche zwischen der fühlbaren und der latenten Wärme existiren, und endlich die Erscheinungen, welche die Veränderungen in dem Zustande der Körper begleiten, untersuchen.

§. 1. Ausdehnung der Körper.

44. Die Ausdehnung (dilatation) der Körper zeigt sich unter so vielen Umständen und auf eine so augenscheinliche Weise, daß es eigentlich nicht nöthig wäre, hier die Versuche aufzuführen, welche diese Erscheinung darthun. Wir

beschreiben jedoch den Apparat, den man gewöhnlich zu diesem Zwecke anwendet.

45. **AB** (Fig. 13) ist eine auf einem Gestell **PQ** befestigte Eisenstange; an dem Ende **B** ist ein fester Leisten **C**, und an dem Ende **A** eine senkrechte Stange **DE**, die oben in einem Cirkelstück **EF** endigt. Eine um den Punkt **O** bewegliche Nadel **GH** durchläuft mit ihrem obern Ende **G** die Grade des Cirkelstücks **EF**, und das andere gekrümmte Ende stößt gegen eine Metallstange **MN**, die man mittelst der Ringe **m** und **n** wegnehmen und wieder hinlegen kann. Um den Apparat zu gebrauchen, schiebt man die Stange **MN** gegen den Leisten **C**, das Ende **H** der Nadel gegen das andere Ende der Stange, und bemerkt auf dem Gradbogen die Stellung des Punktes **G** der Nadel. Darauf nimmt man die Stange weg, macht sie heiß, legt sie dann wieder so, daß ihr eines Ende den Leisten **C** und ihr anderes das Ende **H** der Nadel berührt, und beobachtet den Stand des Endes **G** der Nadel auf dem Gradbogen. Je weniger die Stange erwärmt worden ist, je weniger bewegt sie sich in der Richtung von **E** nach **F** vorwärts, und um so geringer hat sich folglich die Stange **MN** verlängert. Nun ist es klar, daß, wenn **OG** zehnmal länger als **OH** ist, der von dem Punkte **G** beschriebene Raum auch zehnmal größer als die wirkliche Verlängerung der Stange, und daß im Allgemeinen der von der Spitze **G** beschriebene Raum gleich der Ausdehnung der Stange, multiplicirt mit dem Verhältniß der beiden Längen der Nadel **OG** und **OH**, sein wird. Vergrößert man dies Verhältniß, so kann man die geringste Ausdehnung bemerkbar machen.

Auf den ersten Anblick scheint es, als könne der Apparat nicht allein dazu dienen, die Ausdehnung zu bestätigen, sondern auch sie zu messen. Allein er enthält eine Ursache zu Irrthümern, die alle Resultate ganz und gar unsicher macht, der Apparat sei auch noch so genau gearbeitet und die Beobachtungen seien auch noch so scharf. Diese Ursache

liegt in der Berührung der Stange mit der Unterlage A B; sie theilt ihm nothwendig einen Theil von ihrer Wärme mit, wodurch ihre Temperatur folglich niedriger und ihre Ausdehnung geringer wird. Und da zugleich die der Unterlage mitgetheilte Wärme dieselbe auch ausdehnt, so werden die Angaben der Nadel durch diese Ausdehnung des Ganzen auch geringer. Es würde übrigens auch schwierig sein, der Stange eine vollkommene Gleichförmigkeit der Temperatur zu geben und sie zu messen, wenigstens wenn ersteres in einem Bade geschehen sollte.

46. Laplace und Lavoisier haben mit sehr großer Genauigkeit die absolute Ausdehnung einer großen Menge von Körpern, von der Temperatur des schmelzenden Eises bis zu der des Siedepunktes, bestimmt. Sie haben dazu einen sehr sinnreichen Apparat angewandt, den uns aber die bei diesem Werke gesetzten Gränzen nicht darzustellen erlauben. Wir geben blos die Tabelle von den Resultaten, welche diese berühmten Naturforscher erhielten, da sie in den Künsten sehr wichtig sind, und da wir in der Folge oft Gelegenheit haben werden, sie zu gebrauchen.

Längen-Ausdehnung des Glases und der Metalle, nach Laplace und Lavoisier, in Bruchtheilen ihrer Länge ausgedrückt, bei einer Temperatur von 0°.

Namen der Substanzen.	Ausdehnung bei 1° des hunderttheiligen Thermometers.
Spiegelglas von St. Gobin	$^1/_{112247} = 0{,}00000890$
Röhren von bleifreiem Glase	$^1/_{114191} = 0{,}00000875$
Englisches Flintglas	$^1/_{124834} = 0{,}00000811$
Französisches Glas mit Blei	$^1/_{114680} = 0{,}00000871$
Kupfer	$^1/_{58057} = 0{,}00001722$
Messing	$^1/_{53513} = 0{,}00001866$
Stabeisen	$^1/_{81900} = 0{,}00001220$
Ungehärteter Stahl	$^1/_{92700} = 0{,}00001078$
Gelber gehärteter Stahl bei 65° C angelassen	$^1/_{80574} = 0{,}00001239$
Blei	$^1/_{35180} = 0{,}00002848$
Banka-Zinn	$^1/_{5160^9} = 0{,}00001937$
Englisches Zinn	$^1/_{46161} = 0{,}00002172$
Blicksilber	$^1/_{52363} = 0{,}00001909$
Sogen. Pariser Silber	$^1/_{52392} = 0{,}00001908$
Scheidegold	$^1/_{68202} = 0{,}00001466$
Sogen. Pariser Gold, ungeglühet	$^1/_{64452} = 0{,}00001551$
Dasselbe geglühet	$^1/_{66067} = 0{,}00001513$
Gußeisen, nach General Roy	$^1/_{90100} = 0{,}00001100$

Dulong und Petit haben durch andere sehr genaue Mittel folgende Resultate erhalten:

Platin.....	von 0	bis	100°	$1/1131 = 0{,}000840$
	» 0	»	300°	$1/363 = 0{,}002754$
Glas.....	» 0	»	100°	$1/1116 = 0{,}000861$
	» 0	»	200°	$1/544 = 0{,}001845$
	» 0	»	300°	$1/329 = 0{,}003032$
Eisen.....	» 0	»	100°	$1/846 = 0{,}001182$
	» 0	»	300°	$1/227 = 0{,}004405$
Kupfer	» 0	»	100°	$1/582 = 0{,}001718$
	» 0	»	300°	$1/177 = 0{,}005649$

47. Gebrauch der Tafeln über die Ausdehnung. Wenn man eine der Dimensionen eines Körpers bei dem Nullpunkt kennt, und man will die Zunahme der Länge dieser Dimension, bei irgend einer Temperatur, kennen lernen, so ist es augenscheinlich, daß man zu dem Ende die Dimension des Körpers mit der Längenausdehnung, welche sich in der Tabelle findet, und mit der Temperatur multiplicirt. Wenn die Dimensionen des Körpers bei jeder andern Temperatur bekannt wären, so müßte man sie, streng genommen, durch Rechnung, mittelst der in der Note aufgeführten Formel [1]), auf die Temperatur von Null zurückführen. Da aber die Ausdehnung der Metalle sehr gering ist, so kann man diese Reduction unterlassen und die Ausdehnung berechnen, indem man die Länge des Körpers mit der Längenausdehnung und mit der Differenz der Temperatur multiplicirt.

Wir wollen z. B. annehmen, daß wir eine Reihe von gußeisernen Röhren hätten, die in einer Temperatur von

---

[1]) Wenn man eine von den Dimensionen des Körpers bei 0° mit L, dieselbe Dimension bei einer Temperatur von 1° mit L′, die Längenausdehnung in den Tabellen aber mit m bezeichnet, so erhält man die Gleichungen $L' = L\,(1 + tm)$, oder $L = \frac{L'}{1 + tm}$.

10° eine Länge von 100 Metres einnehmen, und daß wir ihre Verlängerung bei 100°, d. h. ihre Ausdehnung bei 90°, finden wollten. Da nun die Ausdehnung für die Einheit der Länge und bei $1° = 0{,}000011$ ist, so ist sie für 100 Metres und bei $1° = 0{,}0011$, und bei $90° = 0{,}0011 \times 90 = 0{,}099$ Metres; weshalb die Verlängerung fast ein Decimeter beträgt.

48. Die vorstehende Tabelle giebt nur die Längenausdehnung an, man kann aber daraus die kubische Ausdehnung, d. h. die Vermehrung des Volums, leicht deduciren. Denn man findet durch Rechnung, daß die Vermehrung des Volums dreimal größer, als die Längenausdehnung ist [1]).

---

[1]) Man denke sich einen Körper von irgend einer Gestalt, dessen Volum V sei, und man nehme ferner an, daß er in einer t Grad höhern Temperatur ein Volum von V′ erlange. Mit beiden Voluminibus wird der Körper ähnliche Gestalten haben; und da in ähnlichen Körpern die Volumina proportional den Kuben der gleichnamigen Dimensionen sind, so erhält man, wenn man mit m und m′ zwei correspondirende Dimensionen bezeichnet, folgendes Verhältniß:

$$V : V' = m^3 : m'^3,$$

woraus man leicht ableiten kann:

$$\frac{V' - V}{V} = \frac{m'^3 - m^3}{m^3}.$$

Macht man nun $m' = m + k$, so folgt:

$$\frac{V' - V}{V} = \frac{3\,m^2\,k + 3\,m\,k^2 + k^3}{m^3};$$

da aber k sehr klein ist, so kann man die zweite und dritte Potenz dieses Bruchs weglassen und die obige Gleichung wird daher folgende:

$$\frac{V' - V}{V} = 3\frac{k}{m};$$

aber $\frac{V' - V}{V}$ ist die kubische Ausdehnung, die sich auf das ursprüngliche Volum bezieht, und $\frac{k}{m} = \frac{m' - m}{m}$ die Längenausdehnung; daher ist die kubische Ausdehnung dreimal so groß, als die Längenausdehnung.

Um daher die Volumvermehrung eines in eine andere Temperatur übergehenden Körpers zu erhalten, muß man sein Volum mit dem Dreifachen der Längenausdehnung und mit dem Unterschiede der Temperatur multipliciren. Will man z. B. die Volums-Veränderung wissen, welche eine Kupfermasse von 1 Kubikmeter erleidet, wenn sie von 10 zu 100° übergeht, so würde das gesuchte Resultat 0,0000172 × 90 × 3 = 0,004644 = 4,644 Kubikdecimeter.

49. Obgleich die Ausdehnung der Metalle an sich selbst sehr gering ist, so bringt sie doch an sehr langen Stangen bedeutende Veränderungen hervor, die man oft zu berücksichtigen genöthigt ist.

50. Die gußeisernen Wasser- oder Dampf-Leitungsröhren erleiden durch die Abwechselungen der Jahreszeiten, oder durch die Unterbrechung der Arbeit, bedeutende Veränderungen der Länge, die so sind, daß, wenn man sie bei der Anlage der Röhren nicht berücksichtigt hat, diese zerbrechen oder lose werden; denn die Kraft, mit welcher die Metalle sich durch die Wärme auszudehnen streben, ist außerordentlich groß. Um diese Unfälle zu verhüten, wenn die Enden fest sind, werden die Röhren ineinander gesteckt, damit sie den gehörigen Spielraum haben und die Veränderungen der Temperatur keine andere Wirkung hervorbringen können, als daß sich die Röhren mehr in- oder auseinander schieben. Wir werden später, bei der Dampfheizung, mit allen den gehörigen Details, auf diesen wichtigen Gegenstand zurückkommen.

51. Bei den Pendeluhren ist die Stange, welche die Linse trägt, allen Veränderungen der Temperatur und der Atmosphäre unterworfen, hat daher in jedem Augenblicke eine andere Länge, wodurch ein unregelmäßiger Gang der Uhr herbeigeführt wird. Sie geht vor, wenn es kalt, und geht nach, wenn es warm ist. Um diese Unregelmäßigkeiten, die für unsere gewöhnlichen Uhren von geringer, für astronomische aber von bedeutender Wichtigkeit sind, zu vermeiden, wendet man verschiedene Mittel an. Es sollen dieje-

nigen, welche man am gewöhnlichsten gebraucht, beschrieben werden.

52. Das einfachste Compensationspendul besteht in einer Eisenstange MN (Figur 14), an dessen Ende ein oben und unten geschlossener Glascylinder mit Queckfilber, der als Linse dient, befindlich ist. Wenn die Pendelstange durch die Wärme sich verlängert, so dehnt sich das Queckfilber aus und steigt in dem Cylinder in die Höhe. Die erstere Wirkung zieht den Schwerpunkt herab, die zweite erhebt ihn, und da die Lage des Schwerpunktes es ist, welche die wirkliche Länge des Pendels bestimmt, und da das Queckfilber sich mehr ausdehnt, als das Eisen, so kann man dem Glascylinder immer solche Dimensionen geben, daß sich beide Wirkungen genau gegenseitig ausgleichen.

53. Die gewöhnlichsten Compensationspendel haben die in der Figur 15 dargestellte Gestalt. Die Stange FG, welche die Linse trägt, ist von einem Rahmen feef aufgehängt, der mit seinem untern Theile auf einem andern eisernen Rahmen dccd ruhet. Dieser ist wiederum mit seinem obern Theile an einem dritten Rahmen baab befestigt, der auf der untern Queerstange eines vierten großen eisernen Rahmens CABD ruhet. Es folgt hieraus, daß die eisernen Rähmen die Linse herab zu ziehen streben, während die aus Kupfer bestehenden sie hinauf zu drängen suchen. Bezeichnet man nun die Ausdehnung der Stangen OE und FG mit D, die Summe der Ausdehnung von einer der vertikalen Stangen jedes kupfernen Rahmens mit B, und die des eisernen mit C, so ist der Niedergang der Linse $= D + C - B$; und da das Kupfer sich mehr als das Eisen ausdehnt, so kann man immer die relativen Längen der Eisen- und Kupferstangen bestimmen, so daß sich die Ausdehnungen gegenseitig ausgleichen und die Linse folglich in gleicher Höhe bleibt.

54. Eine andere Art von Compensationspendeln, die jedoch selten angewendet wird, besteht aus zwei Stangen, die eine AB (Fig. 16) aus Eisen, und die andere CD von

Kupfer, die über einander gelegt und durch viele Schraubenbolzen mit einander und fest mit der Pendelstange verbunden sind. Wenn es kalt wird, so geht der Schwerpunkt G der Linse in die Höhe; allein da die Kupferstange CD sich mehr zusammenzieht als die Eisenstange AB, und diese letztere auf der erstern nicht gleiten kann, so krümmen sie sich zusammen nach unten zu (Fig. 17), und da der Schwerpunkt des Pendels derselbe der ganzen Masse des Apparats ist, so zieht diese Bewegung den Schwerpunkt der beiden Stangen und folglich auch den des Pendels hinab. Wird es warm, so krümmen sich die Stangen in umgekehrter Richtung (Fig. 18), und der Schwerpunkt des Pendels, welcher durch die Verlängerung der Pendelstange gesunken ist, steigt durch die Krümmung der Stangen. Die Dimensionen der Stangen AB und CD, ihren Platz an der Pendelstange und das Gewicht der Kugeln m und n, kann man leicht bestimmen, damit die Compensation genau sei.

55. Die Kraft, mit welcher die festen Körper bei Temperatur-Veränderungen ihr Volum zu verändern suchen, ist sehr bedeutend. Molard, früher Director des Museums der Künste und Gewerbe zu Paris, machte davon eine sehr glückliche Anwendung, die wir hier erzählen wollen. Die beiden Seitenmauern eines Saales in dem Museum waren von dem Drucke des Deckengewölbes, welches sie zu tragen hatten, gewichen. Um sie wieder in ihre gehörige Lage zu bringen, ließ Molard Eisenstangen durch beide Mauern gehen, die Außen mit großen Schraubenmuttern versehen waren. Indem man diese nun stark anzog, konnte man zwar ein weiteres Ausweichen der Mauern verhindern, allein keine Kraft war im Stande, sie wieder in ihre frühere Lage zu bringen. Nun machte man die Hälfte der Stangen durch untergesetzte Lampen heiß, worauf sie sich verlängerten und man die Schraubenmuttern weiter anziehen konnte. Bei dem Wiederzusammenziehen der Stangen, verlor sich ein Theil des Ausweichens der Mauern. Indem man nun die Operation, nach und nach, mit der Hälfte

der Stangen wiederholte, verlor sich die gänzliche ursprüngliche schiefe Richtung der Mauern.

Ausdehnung flüssiger Körper.

56. Die Flüssigkeiten erleiden eben so gut, wie die festen Körper, durch Temperatur-Veränderungen Ausdehnung und Zusammenziehung. Wie wir schon weiter oben anführten, so beruhen auf diese Erscheinung alle Thermometer.

57. Um die Gesetze der Ausdehnung der Flüssigkeiten zu studiren, wendet man gewöhnlich einen sehr einfachen Apparat (Fig. 19) an, der in einer Haarröhre AB, mit einer großen Kugel C an dem einen Ende, besteht. Die gehörig calibrirte Röhre muß in gleiche Grade getheilt werden, deren Größe, in Beziehung zu der Kugel, bekannt sein muß. Man füllt die Kugel mit der Flüssigkeit an, deren Ausdehnung man messen will [1]), und bringt das Instrument in ein Bad von bekannter Temperatur. Die ausgedehnte Flüssigkeit steigt in der Röhre in die Höhe und man berechnet nach der Anzahl der Grade, welche sie sich erhebt, welchen Bruch von seinem ursprünglichen Volum sie sich ausgedehnt hat.

58. Jedoch erfordert dieses Verfahren viele Vorsicht und viele Correctionen, ohne welche die Resultate unsicher sein würden. 1) Muß man das Ende der Röhre an einer Lampe zuschmelzen, indem man berücksichtigen muß, daß

---

[1]) Um die Röhre und die Kugel zu füllen, kann man sich nicht des gewöhnlichen Verfahrens bedienen, indem die Capillarität der Röhre das Hineinbringen der Flüssigkeit verhindern würde. Man muß die Kugel erhitzen und das Ende der Röhre (Fig. 20 a) schnell in die Flüssigkeit tauchen, die man hineinbringen will. Durch die Wiederabkühlung erhebt sich die Flüssigkeit in der Röhre, um die Stelle der von der Wärme vertriebenen Luft einzunehmen. Erhitzt man die Röhre von Neuem, so entfernt der Dampf der Flüssigkeit die noch übrige Luft, und durch ein neues sehr rasches Eintauchen kann man die Kugel und die Röhre vollkommen anfüllen.

die Flüssigkeiten in allen Temperaturen verdampfen und daß die Dämpfe das Volum der Flüssigkeit stets vermindern. 2) Ehe man beobachtet, muß man durch ein hinreichend langes Sieden die Flüssigkeit von aller Luft, welche sie enthalten könnte, reinigen; denn da sich diese nur schwer aus der Flüssigkeit entwickelt und sich mehr ausdehnt als letztere, so würde sie große Abweichungen von der anscheinenden Ausdehnung der Flüssigkeit hervorbringen. 3) Man muß bei der Ausdehnung der Flüssigkeit die Volum-Zunahme der gläsernen Kugel und Röhre, welche jene umschließen, berücksichtigen [1]). Man könnte die Ausdehnung der flüssigen Körper auch messen, indem man das Gewicht eines gleichen Volums in verschiedenen Temperaturen bestimmte, denn es würde leicht sein, für jeden Fall das Volum zu finden, welches die Flüssigkeit haben müßte, damit das Gewicht nicht verändert würde.

59. Das Gewicht eines und desselben Volums von einer Flüssigkeit, in verschiedenen Temperaturen, kann man auf verschiedene Weise finden. 1) Man gebraucht ein Gefäß A (Fig. 20 b), dessen Oeffnung abgeschmirgelt und durch eine genau darauf passende Glastafel M verschlossen ist. Nun ist es klar, daß man durch dieses Mittel das Gefäß immer genau vollfüllen kann, und daß die Flüssigkeit, die es in verschiedenen Temperaturen enthält, stets dasselbe Volum haben wird, wie die Ausdehnung in der Nähe des Gefäßes, die man leicht berechnen kann. 2) Mittelst einer

---

[1]) Um die Formel dieser letztern Correction zu bestimmen, bezeichnen wir die von der Flüssigkeit, sowol in der Kugel, als in der Röhre, bei der anfänglichen Temperatur, eingenommenen Menge von Graden durch V; die Anzahl der Grade, zu welcher sich die Flüssigkeit bei einer höhern Temperatur von 1 Graden erhoben hat, mit V'. Nun ist es klar, daß, da sich das Glas ausgedehnt hat, jeder Grad größer sein wird, als die anfängliche Temperatur von einer gewissen Größe. Ist nun k die kubische Ausdehnung des Glases, so wird jeder Grad um kt an Volum zugenommen haben, und folglich wird das wirkliche Volum $= V'(1 + kt)$ sein.

kleinen Kugelflasche oder Retorte (Fig. 21), die mit einer sehr engen Oeffnung o versehen ist, die man in einer niedrigen Temperatur sehr genau mit einer Flüssigkeit vollgefüllt hat und die man genau wiegt, indem man sie nach und nach in Bäder von verschiedener Temperatur bringt. Die Ausdehnung wird augenscheinlich dem Volum der Flüssigkeit, die bei der Erwärmung durch die Oeffnung o ausfließen wird, gleich sein. Bei diesem sowol, wie bei dem erstern Verfahren, muß man jedoch die Ausdehnung des Gefäßes berücksichtigen.

60. Von allen bekannten Mitteln zum Messen der Ausdehnung der Flüssigkeiten ist folgende die genaueste, da die Beobachtungen keiner Correction bedürfen.

61. Es sei ABCD (Fig. 22) eine zweimal gekrümmte und an beiden Enden offene Röhre. Man weiß, daß eine Flüssigkeit vollkommen gleiche Höhen einnimmt, und daß, wenn die beiden Arme AB und CD Flüssigkeiten von ungleicher Dichtigkeit enthalten, die Höhen der flüssigen Säulen sich umgekehrt wie ihre Dichtigkeiten verhalten, die Durchmesser der beiden senkrechten Arme, die Ungleichheiten derselben und ihr Abweichen von der senkrechten Richtung seien übrigens, welche sie wollen, vorausgesetzt, daß die Röhren in der Höhe der Niveaus nicht haarröhrartig (zu eng) sind. Dies ist das Prinzip, auf welches das erwähnte Verfahren gestützt ist. Wir wollen nun den Apparat beschreiben.

62. ABCD ist ein umgekehrter Heber, dessen beide vertikale Arme oben weitere Röhren haben, und dessen unterer Theil BC vollkommen horizontal ist. Jeder von den beiden senkrechten Armen ist von einem gläsernen, auf die Tafel MN gekitteten Gehäuse umgeben. Man füllt die Röhre ABCD mit der Flüssigkeit an, deren Ausdehnung man bestimmen will. So lange nun beide Arme AB und CD in gleicher Temperatur befindlich sind, so bleiben die Niveaus in gleicher Höhe. Allein sobald man beide Säulen verschiedenen Temperaturen aussetzt, indem man die beiden

äußern Cylinder m und n mit ungleich erwärmten Flüssigkeiten anfüllt, so bleiben die Niveaus nicht in gleicher Ebene, und die Differenz ihrer Höhe ist gleich der, der Höhe der Säule correspondirenden, Längen-Ausdehnung. Um die Höhe der ausgedehnten Säule und die Differenz des Niveaus zu messen, bedient man sich eines Fernrohrs GH (Fig. 24), welches in seinem Brennpunkte einen horizontalen Faden hat und das, parallel mit sich selbst, auf einer senkrechten Stange KL, die sehr genau eingetheilt ist, bewegt werden kann. Man stellt das Fernrohr gleich weit von beiden Armen AB und CD, und wenn man es nun so richtet, daß der horizontale Faden nach einander mit beiden Niveaus zusammenfällt; so ist es klar, daß der Raum, den das Fernrohr auf seiner senkrechten Stange zu durchlaufen hat, gleich der Differenz des Niveaus ist. Will man die absolute Höhe einer der Säulen bestimmen, so hält man eine in Centimeter und Millimeter (oder in Zolle und Linien) getheilte Metallplatte an die Säule AB, schiebt dann das Fernrohr bis zu einem, an seinem Stativ bezeichneten, Punkte hinab und sieht, welchem Theil der Stange der Faden des Fernrohrs correspondirt; diese Beobachtung giebt die Entfernung der Tafel MN zur Höhe des Fadens. Zieht man von dieser Höhe die Dicke des Glases der horizotalen Röhre BC ab, und fügt den Raum hinzu, den sie an dem Fernrohr durchlaufen muß, damit dessen Faden die Oberfläche der Flüssigkeit berührt, so erhält man augenscheinlich die totale Höhe der Säule. Diese Verfahrungsweise wurde zuerst von Dulong und Petit bei ihrer vortrefflichen, oben erwähnten Arbeit über die Wärme angewendet.

63. Man hat durch Beobachtung gefunden: 1) daß die Ausdehnung der Flüssigkeiten bei einer gleichen Anzahl von Thermometergraden mit der Temperatur zunimmt; 2) daß diese Zunahme der Temperatur nicht proportional ist; 3) daß bei den Temperaturen, welche den, der Veränderung ihres Zustandes, ihrer Verdampfung, oder ihrem Gefrieren correspondirenden nahe steht, die Flüssigkeiten

große Anomalien in ihrer Zusammenziehung oder in ihrer Ausdehnung erleiden.

64. Um die Veränderungen der Ausdehnung der Flüssigkeiten, in dem Maaße, daß sich die Temperatur erhebt, darzuthun, fügen wir eine Tabelle über die Ausdehnung verschiedener Flüssigkeiten von 5 zu 5 Graden des Reaumurschen Thermometers nach Deluc bei. Die Beobachtungen sind an Thermometern, die von verschiedenen Flüssigkeiten construirt worden, gemacht, und die Temperatur ist mittelst eines Queckfilber-Thermometers gemessen. Die in der Tabelle aufgeführten Zahlen geben nicht die absoluten Ausdehnungen, denn um diese zu erhalten, müßte man das Verhältniß zwischen den Graden eines jeden Instruments und dem Volum der in dem Thermometer eingeschlossenen Flüssigkeit, bei einer gewissen Temperatur, kennen, Verhältnisse, die Deluc jedoch nicht bestimmt hat.

Vergleichung der mit verschiedenen Flüssigkeiten construirten Thermometer.

Queckſilber.	Baumöl.	Aetheriſch. Kamillen-Oel.	Aetheriſch. Quendelöl	Geſättigte Salzſoole.	Höchſt rectificirt. Alkohol.	Ein Theil Alkohol und ein Theil Waſſer.	Ein Theil Alkohol und drei Theile Waſſer.	Waſſer.
80,0°	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
75	74,6	74,7	74,3	74,1	73,8	73,2	71,6	71,0
70	69,4	69,5	68,8	68,4	67,8	66,2	62,9	62,0
65	64,4	64,3	63,5	62,6	61,9	60,6	55,2	53,5
60	59,3	59,1	58,3	57,1	56,2	54,8	47,7	45,8
55	54,2	53,9	53,3	51,7	50,7	49,1	40,6	38,5
50	49,2	48,8	48,3	46,6	45,3	43,6	34,4	32,0
45	44,0	43,6	43,4	41,2	40,2	38,4	28,4	26,1
40	39,0	38,6	38,4	36,3	35,1	33,3	23,0	20,5
35	34,2	33,6	35,5	31,3	30,3	28,4	18,0	15,9
30	29,3	28,7	28,6	26,5	25,6	23,9	13,5	11,2
25	24,3	23,8	23,8	21,9	21,0	19,4	9,4	7,3
20	19,3	18,9	19,0	17,3	16,5	15,3	6,1	4,1
15	14,4	14,1	14,2	12,8	12,2	11,1	3,4	1,6
10	9,5	9,3	9,4	8,4	7,9	7,1	1,5	0,2
5	4,7	6,6	4,7	4,2	3,9	3,4	0,1	—0,4
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
—5	»	»	»	—4,1	—3,9	»	»	»
—10	»	»	»	—8,0	—7,7	»	»	»

65. Man ſieht nach dieſer Tabelle, daß die Angaben der Waſſer- und Alkohol-Thermometer ſich denen des Queck-

silber=Thermometers um so mehr nähern, je höher die Temperatur ist; woraus augenscheinlich hervorgeht, daß die Ausdehnungen dieser Flüssigkeiten zunehmen. Die Thermometer von Baum= und ätherischen Oelen zeigen nur geringe Abänderungen.

Später wird dargethan werden, daß die Ausdehnungen des Queckfilbers, so weit als unsere Beobachtungen reichen, von 0 bis 100° gleichförmig sind.

66. Da die Kenntniß der absoluten Ausdehnung der gewöhnlichsten Flüssigkeiten, bei einer großen Menge von physischen Untersuchungen und bei ihrer Anwendung in den Künsten und Gewerben, von großem Nutzen sind, so folgt hier eine Tabelle über die Ausdehnung derjenigen Flüssigkeiten, die am häufigsten gebraucht werden.

Tabelle über die Ausdehnung mehrerer Flüssigkeiten von 0 bis 100°, das Volum bei 0° = 1 angenommen.

Namen der Substanzen.	Ausdehnung von 0° bis 100°.
Salzsäure (Specif. Gew. = 1,137).....	0,0600 = 1/17
Salpetersäure (Specif. Gew. = 1,40).....	0,1100 = 1/9
Schwefelsäure (Specif. Gew. = 1,85).....	0,0600 = 1/17
Alkohol.....	0,1100 = 1/9
Wasser.....	0,0466 = 1/22
Gesättigte Salzsoole.....	0,0500 = 1/20
Schwefeläther.....	0,0700 = 1/14
Feine Oele.....	0,0800 = 1/12
Terpentinöl.....	0,0700 = 1/14
Queckfilber von 0 bis 100°.....	0,018018
Queckfilber von 100 bis 200°.....	0,0184331
Queckfilber von 200 bis 300°.....	0,0188679

Tabelle über die Zusammenziehung mehrerer Flüssigkeiten von 5 zu 5 Grad des hunderttheiligen Thermometers, ihr Volum in der Temperatur des Siedens zu 1000 angenommen. Der Siedpunkt des Wassers findet bei 100°, der des Alkohols bei 78°,41, der des Schwefelkohlenstoffs bei 46°,60, und der des Aethers bei 35°,66 statt.

Temperatur.	Wasser.	Alkohol.	Schwefel-kohlenstoff.	Schwefel-äther.
von 75 zu 70°	36,76	80,11		
» 70 » 65	35,47	75,48		
» 65 » 60	34,02	70,74		
» 60 » 55	32,42	65,96	66,21	
» 55 » 50	30,60	61,01	61,14	78,38
» 50 » 45	28,56	56,02	56,28	72,01
» 45 » 40	26,50	50,85	51,08	65,48
» 40 » 35	24,10	45,68	45,77	58,77
» 35 » 30	21,52	40,28	40,48	52,06
» 30 » 25	18,85	34,74	35,06	46,42
» 25 » 20	16,06	29,15	29,65	39,14
» 20 » 15	13,15	24,34	23,80	31,83
» 15 » 10	10,50	17,51	17,98	24,16
» 10 » 5	6,61	11,43	12,01	16,17
» 5 » 0	3,34	5,55	6,14	8,15

Diese letztere Tabelle zeigt die Zunahme der Ausdehnung der Flüssigkeiten in dem Maaße, als die Temperatur zunimmt, sehr deutlich.

Ausdehnung der gasigen Körper.

67. Die Thatsache von der Ausdehnung der Gase kann man sehr leicht durch verschiedene einfache Experimente darthun. Wenn man eine verschlossene, aber nicht ganz aufgeblasene, Schweinsblase nimmt und läßt sie warm werden, so sieht man, daß ihr Volum zunimmt. Bringt man in

eine, mit einer Kugel versehene, sehr dünne Glasröhre etwas Queckſilber, und zwar in die Nähe der Kugel, und man erwärmt diese, so wird sich das Queckſilber nach dem Ende der Röhre zu bewegen.

68. Um die Ausdehnung der Gase zu messen, wendet man einen ähnlichen Apparat an, als der ist, mit denen man analoge Versuche an den flüssigen Körpern macht.

69. Man nimmt eine Röhre AB (Fig. 25), die in gleiche Theile getheilt ist und die in eine Kugel C ausläuft, deren Volum man, in Beziehung auf das der Grade der Röhre, kennt. Man füllt die Kugel und die Röhre mit Queckſilber, das man darin sieden läßt, um alle Feuchtigkeit zu vertreiben, welche die Röhre enthalten könnte. Diese Vorsicht ist unerläßlich, denn da sich das Wasser in allen Temperaturen zu Dampf verwandelt, so würde sich die elastische Kraft dieser Dämpfe mit der des Gases, welches man in der Röhre eingeschlossen halten würde, vereinigen und sehr bedeutende Irrthümer veranlassen. Nachdem das Queckſilber in der Röhre lange Zeit gekocht hat, befestigt man an ihrem Ende eine andere Glasröhre M (Fig. 26), die mit Stücken von einer sehr leicht zerfließenden Substanz, wie Chlorkalk oder Pottasche, angefüllt ist, und an das Ende dieser zweiten Röhre eine Kugel N mit einem Hahn n, welche das Gas enthält, dessen Ausdehnung man messen will. Mittelst einer mit der Röhre M in Verbindung gesetzten Luftpumpe, entfernt man Luft aus derselben, öffnet dann den Hahn n, worauf das in der Kugel N befindlich gewesene Gas in die Röhre tritt. Man nimmt darauf die Kugel weg und nöthigt, mittelst einer dünnen bis in die Röhre AB reichenden Eisenstange und mittelst Umschütteln des Apparats, das in der Kugel und der Röhre befindliche Queckſilber in die Röhre M zu fallen, wogegen das in letzterer befindliche, vollkommen getrocknete Gas seinen Platz einnimmt. Es muß in der Röhre AB nur ganz wenig Queckſilber bleiben, welches dazu dient, das in derselben befindliche Gas von der atmosphärischen Luft zu scheiden.

Man braucht dann nur den Apparat in Bäder von verschiedener Temperatur zu bringen und mittelst der Bewegung der kleinen Queckſilberkugel die Ausdehnung zu beobachten.

70. Dazu wendet Gay-Luſſac einen Kaſten von Weißblech **MNPQ** (Fig. 27), der mit Waſſer angefüllt iſt, welches durch einen darunter befindlichen Heerd beliebig erhitzt werden kann, an. Am Deckel des Kaſtens ſind drei kurze Röhren befindlich, von denen die beiden äußern **E** und **F** dazu beſtimmt ſind, die ſich im Kaſten bildenden Dämpfe abzuführen, die mittlere aber, um ein Thermometer aufzunehmen, deſſen Kugel in dem Waſſer hängt. Endlich enthalten zwei einander gegenüberliegende Seitenwände des Kaſtens jeder eine kurze Röhre, durch welche eine das zu unterſuchende Gas enthaltende Glasröhre in einer horizontalen Lage, und auf der entgegengeſetzten Seite ein Thermometer in das Waſſer gebracht werden können. Letzterer, der mit dem Gaſe in einer Schicht des Waſſers liegt, zeigt ſtets die Temperatur, welcher jenes ausgeſetzt iſt.

71. Die Röhren ſind mittelſt Körken in den Mündungen befeſtigt, ſo daß man ſie leicht vor- und zurückſchieben kann, um die Lage der Queckſilberſäule in dem Thermometer und die des Index in der Gasröhre zu beobachten. Um aus den, mittelſt des Apparates beobachteten, anſcheinenden Ausdehnungen der Gaſe die wirklichen abzuleiten, muß man zu jener die des Glaſes hinzufügen. Sehr ſorgfältig muß man den Barometerdruck beobachten, denn wenn er abweicht, ſo muß man das Volum des Gaſes auf das reduciren, welches es gehabt haben würde, wenn der Druck conſtant geweſen wäre, und dazu muß man das Mariotiſche Geſetz, nach welchem die Volumina in umgekehrtem Verhältniſſe zu dem drückenden Gewichte ſtehen, anwenden. Der Barometerdruck iſt der einzige, welcher auf das in der Kugel und der Röhre befindliche Gas einwirkt, denn da die Röhre horizontal liegt, ſo übt das Gewicht des Queckſilbers nur auf die Röhre Druck aus. Stände die Röhre ſenkrecht, ſo müßte man natürlich ſeine Höhe zu der des

Barometers fügen, oder von derselben abziehen, je nachdem die Oeffnung der Röhre oben oder unten befindlich wäre.

72. Gay-Lussac hat durch das eben erwähnte Verfahren gefunden, daß alle Gase sich gleichförmig ausdehnen, d. h. bei gleicher Zunahme der Temperatur, in gleicher Menge, und daß für alle die correspondirende Ausdehnung bei 1° des hundertheiligen Thermometers = 0,00375 ihres Volums bei 0° sei; so daß, wenn man das Volum irgend eines Gases auf dem Nullpunkte durch 1 ausdrückt, sein Volum bei 100° = 1,375 sein wird.

Dieses schöne Gesetz wurde fast zu derselben Zeit auch von dem berühmten Physiker Dalton zu Manchester entdeckt, allein er fand 0,372 für die absolute Ausdehnung von 0 bis 100°.

73. Dulong und Petit bestätigen in der oben schon angeführten Abhandlung über die Wärme, die Gleichheit der Ausdehnung der Gase, die Gay-Lussac in der Temperatur von 0 bis 100° gefunden hatte, bis 36° unter Null, und sagen, daß sie sich von da bis zu 300° ausdehnen; daß aber die Gleichförmigkeit der Ausdehnung eines Gases, die sich von — 36° bis 100° nachweisen läßt, über diese letztere Gränze hinaus nicht mehr existirt. Die Ausdehnungen nehmen bei gleicher Zunahme der Temperatur, nach dem Queckfilber-Thermometer gerechnet, ab.

74. Die Ausdehnung der Luft durch die Wärme ist die hauptsächlichste Ursache der Bewegungen der Luft in der Atmosphäre, und die einzige Ursache der Bewegungen der Luft in allen unsern Hitzapparaten. Später werden wir mit aller nöthigen Sorgfalt die Gesetze dieser Bewegungen studiren.

§. 2. Dichtigkeit der Körper.

75. Um das Gewicht der Körper von gleichem Volum zu vergleichen, hat man es für zweckmäßig gefunden, sie auf das des destillirten Wassers von 4° über den Nullpunkt zurückzuführen. Man nennt specifisches Gewicht eines Kör-

pers die Menge der Male, daß sein Gewicht das eines gleichen Volums Wassers enthält. Man hat das Wasser gewählt, weil sich dieses überall findet; man nimmt das durch Destillation gereinigte Wasser, da die Dichtigkeit des unreinen Wassers mit der Beschaffenheit und Menge der fremden Substanzen, die es enthält, wechselt. Endlich muß man auch eine bestimmte Temperatur annehmen, weil seine Dichtigkeit von seiner Temperatur abhängt. Die Temperatur von 4° ist die, welche dem Maximum seiner Dichtigkeit correspondirt.

76. Wenn man das specifische Gewicht eines festen, flüssigen oder gasigen Körpers bei einer gewissen Temperatur kennt, so ist es nach dem Vorhergehenden leicht, die Dichtigkeit bei irgend einer Temperatur zu finden, sobald man das Maaß seiner Ausdehnung für jeden Thermometergrad kennt.

77. Es sollen nun die Mittel, die man zur Bestimmung der Dichtigkeit der Körper in ihren verschiedenen Zuständen anwendet, kurz angegeben werden, und dann wollen wir eine Tabelle über die Dichtigkeit der am häufigsten angewendeten Körper mittheilen.

78. Messung der Dichtigkeit der Körper. Um die Dichtigkeit eines Körpers zu bestimmen, muß man sein und das Gewicht eines gleichen Volums Wasser kennen; der Quotient des erstern Gewichts, getheilt durch das zweite, ist die gesuchte Dichtigkeit. Die Gewichtsbestimmung des Körpers hat keine Schwierigkeit. Das Gewicht eines gleichen Volums Wassers erhält man leicht mittelst des hydrostatischen Princips: daß ein, in irgend eine Flüssigkeit getauchter, Körper von seinem Gewicht das verliert, was ein gleiches Volum von jener wiegt. Man muß demnach, um die Dichtigkeit eines Körpers zu bestimmen, ihn erst in der Luft und dann im Wasser wägen, und sein Gewicht in der Luft durch die Differenz seines Gewichts in der Luft und in dem Wasser dividiren.

79. Man kann zu diesen Versuchen eine gewöhnliche

Waage anwenden. Man wägt zu dem Ende den Körper auf die gewöhnliche Weise in der Luft und dann im Wasser, indem man ihn mittelst eines Menschenhaares, welches man unter der einen Schaale aufhängt, in ein mit dieser Flüssigkeit angefülltes Gefäß bringt.

80. Man kann sich auch zur Bestimmung der Dichtigkeit oder des specifischen oder eigenthümlichen Gewichts der festen Körper eines sehr bequemen Apparates, des von Nicholson erfundenen Aräometers, bedienen. Er besteht aus einem hohlen Cylinder von Metallblech, ABCD (Fig. 28), der oben und unten in zwei Kegel EAB und FCD ausläuft. Der obere derselben trägt eine kleine Stange E mit einem Schälchen M; an dem andern hängt ein mit Blei ausgefüllter, an der Basis converer Kegel N. Bringt man diesen Apparat ins Wasser (Fig. 29), so bleibt er, wenn die Axe EF senkrecht ist, in beständigem Gleichgewicht und sinkt bis zur Linie ab in die Flüssigkeit ein. Man bezeichnet sich an dem Stäbchen F irgend einen Punkt o, den man den Ausgleichungspunkt nennt. Will man nun mittelst des Aräometers das specifische Gewicht eines Körpers finden, so bestimmt man zuerst das Gewicht, mit welchem das obere Schälchen M beschwert werden muß, damit das Instrument bis an den Punkt o ins Wasser hinabgedrückt wird. Man nennt dieses Gewicht das Normalgewicht. Darauf vertauscht man das Gewicht mit dem zu wägenden Körper, und legt so viel Gewicht zu, um den Punkt o wieder bis zur Oberfläche des Wassers zu bringen. Nun ist es klar, daß dies letztere Gewicht, von dem Normalgewichte abgezogen, das absolute Gewicht des Körpers angiebt. Darauf legt man den Körper in die untere Schaale, und beschwert die Schaale M wieder so, daß die Ausgleichung mit dem Punkt o hervorgebracht wird. Da nun ein ins Wasser getauchter Körper von seinem Gewicht so viel verliert, als das eines gleichen Volums Wasser beträgt, so ist die Differenz zwischen diesem und dem bei der zweiten Operation zugelegten Gewicht

gleich dem des von dem Körper eingenommenen Volums. Man macht daher drei Ausgleichungen; die erste mit dem Gewichte allein, die zweite, indem man den Körper in die obere, und die dritte, indem man ihn in die untere Schaale legt. Die Differenz zwischen dem erstern und dem zweiten Gewicht giebt das absolute Gewicht des Körpers, und die Differenz zwischen dem zweiten und dem dritten das eines gleichen Volums Wasser an. Dividirt man daher die erstere Differenz durch die zweite, so erhält man das gesuchte specifische Gewicht. Dies Instrument wird, da es nicht kostbar, leicht tragbar und genau genug ist, sehr häufig angewendet.

81. Das Eintauchen der Körper in das Wasser, welches bei der Anwendung des Nicholsonschen Aräometers unerläßlich ist, hat oft Schwierigkeit, giebt zu Irrthümern Veranlassung und ist zuweilen selbst ganz unmöglich. Wir wollen diese verschiedenen Fälle näher betrachten.

82. Wenn ein Körper weit leichter als das Wasser ist, so muß man ihn mittelst eines Gitters **P Q** (Fig. 30), das man über die Kapsel **N** deckt, und das von Anfang der Operation an daran befestigt ist, darunter zu bleiben nöthigen.

83. Wenn ein Körper Poren enthält, die vom Wasser durchdringlich sind, so geht diese Flüssigkeit in einen Theil derselben; alsdann ist das Volum des verdrängten Wassers viel kleiner, als das anscheinende Volum der Masse des ganzen Volums der durchdrungenen Poren. Man muß daher, um das Gewicht eines Volums Wasser, welches dem scheinbaren Volum des Körpers gleich ist, zu erhalten, zu dem Gewichte des verdrängten Volums Wasser dasjenige des Wassers fügen, welches der Körper einsaugen kann; eben so muß man zu dem Verlust, welchen der Körper durch sein Einsaugen verliert, die Vermehrung des Gewichts fügen, die er in der Luft erhält, wenn er voll Wasser gesogen ist. Man könnte auch, nach dem Wägen in der Luft, die Poren an der Oberfläche des Körpers mit einer festen

Substanz überziehen, welche das Wasser abhält, in das Innere des Körpers einzudringen. Das äußere Volum bleibt dem Ansehn nach dasselbe, und wenn man nun den Körper von neuem in der Luft und in dem Wasser wägt, so wird der Gewichtsverlust genau das Gewicht eines, dem scheinbaren Volum des Körpers gleichen, Volums sein. Dieses Verfahren ist besonders bei hölzernen Kohlen ꝛc. anwendbar. Hätte der äußere Ueberzug eine beträchtliche Dicke, so würde das Volum zunehmen, allein der Irrthum, den man bei der Dichtigkeit erhält, würde gar nichts betragen, wenn der Firniß ein dem Wasser gleiches specifisches Gewicht hat. Im entgegengesetzten Fall, wenn man das Gewicht des Firnisses und seine Dichtigkeit kennt, so wird es leicht sein, die Correction zu berechnen, die man mit den Resultaten der Operation vornehmen muß.

84. Wenn ein Körper im Wasser auflöslich ist, oder durch diese Flüssigkeit irgend eine Veränderung erleidet, so kann er nicht in das Wasser eingetaucht werden. Um das Gewicht eines gleichen Volums Wasser zu erhalten, beginnt man damit, den Verlust zu bestimmen, welchen er in einer Flüssigkeit erleidet, die nicht auf ihn einwirkt. Dieser Verlust ist das Gewicht eines gleichen Volums dieser Flüssigkeit. Theilt man nun dieses Gewicht durch die Dichtigkeit dieser Flüssigkeit, d. h. durch die Zahl, welche das Gewicht dieser Flüssigkeit, die eines gleichen Volums Wasser, enthält, so ist es klar, daß der Quotient das Gewicht eines dem Körper gleichen Volums Wasser gleich sein wird.

85. Bei diesen Operationen ist die Temperatur nie $= 4°$ C.; wenn daher eine große Genauigkeit erforderlich ist, so muß man die Resultate auf die reduciren, welche unter diesen Umständen statt gefunden haben würden.

86. Dichtigkeit der flüssigen Körper. Man bestimmt die Dichtigkeit der flüssigen Körper, wie die der festen, indem man das Gewicht irgend einer flüssigen Masse mit dem eines gleichen Volums Wasser vergleicht. Man

kann dazu verschiedene Processe anwenden, die wir nun beschreiben wollen.

87. Man wiegt eine, mit einem eingeschmirgelten Stöpsel versehene, Glasflasche erst leer, wird dann mit destillirtem Wasser angefüllt; die Differenz des Gewichts giebt das des darin enthaltenen Volums Wasser an. Darauf wägt man es von neuem mit der Flüssigkeit angefüllt, deren specifisches Gewicht man bestimmen will, und die Differenz zwischen diesem Gewicht und dem der leeren Flasche giebt das der Flüssigkeit an. Oder, bei jeder dieser Operationen sind die Volumina der beiden Flüssigkeiten gleich, weil sich der Stöpsel bei beiden gleich tief in den Hals der Flasche einsenkt. Dividirt man daher das Gewicht der letztern durch das des Wassers, so erhält man das gesuchte specifische Gewicht. Es ist fast überflüssig, zu bemerken, daß, wenn das Wasser durch eine andere Flüssigkeit ersetzt wird, man die Flasche erst völlig austropfen lassen und, wenn man sie angefüllt und den Stöpsel darauf gesetzt hat, dieselbe getrocknet und abgewischt werden muß.

88. Das folgende Verfahren ist jedoch weit genauer. Man hängt einen festen Körper mittelst eines sehr dünnen Fadens auf, wägt ihn zuvörderst in der Luft und dann, indem man ihn in destillirtes Wasser und endlich in die Flüssigkeit taucht, deren Dichtigkeit man bestimmen will. Der Gewichtsverlust, der durch sein Eintauchen in jede dieser Flüssigkeiten veranlaßt wird, ist genau das Gewicht eines gleichen Volums der beiden Flüssigkeiten. Dividirt man dann den zweiten Verlust durch den ersten, so erhält man die gesuchte Dichtigkeit.

89. In dem Handel und in den Gewerben bedient man sich oft, um die Verschiedenheiten der Dichtigkeit von Flüssigkeiten kennen zu lernen, kleiner Instrumente, die man Areometer oder Wasserwagen nennt. Gewöhnlich bestehen die Areometer aus Glas; nämlich aus einem Cylinder **AB** (Fig. 31), mit einer größern und mit einer kleinern Kugel **M**, welche letztere Blei oder Queckfilber enthält, um den

Apparat zu beschweren. Der Cylinder **A B** enthält eine in Grade eingetheilte Scala. Taucht man nun das Instrument in eine Flüssigkeit, so hält es sich senkrecht und sinkt um so mehr ein, je leichter die Flüssigkeit ist. Es sucht mit einer seinem Gewichte gleichen Kraft einzusinken, und mit einer dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleichen Kraft emporzusteigen; daher ist das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit, wenn das Instrument im Gleichgewicht steht, stets dem des Instruments gleich; demnach wird es um so tiefer einsinken, je geringer die Dichtigkeit der Flüssigkeit sein wird. Alle die gewöhnlich im Handel und in den Gewerben angewendeten Instrumenten geben lediglich an, daß eine Flüssigkeit von größerer oder geringerer Dichtigkeit als eine andere sei, allein weder ihre absolute Dichtigkeit, noch das Verhältniß dieser Dichtigkeiten. Die auf der Scala befindlichen Zahlen haben kein Verhältniß zu einander, denn man bestimmt den Nullpunkt oder irgend eine Abtheilung, indem man das Instrument in destillirtes Wasser, und einen passenden Grad, indem man es in Salzsoole taucht, worauf man den Raum zwischen beiden Punkten in gleiche Theile theilt. Bei einem Alkohol-Areometer z. B. wird der zehnte Grad durch Eintauchen des Instruments in destillirtes Wasser, und der Nullpunkt durch das in eine Salzsoole, bestehend aus 10 Theilen Seesalz und 90 Theilen Wasser, bestimmt. Da nun die Länge der Grade durch diese Operation bestimmt ist, so trägt man sie über und unter jene Punkte, um die Scala zu verlängern. An der Salzwaage von Baumé wird der Nullpunkt durch destillirtes Wasser, und der dreißigste Grad durch eine Salzsoole von 70 Theilen Wasser und 30 Theilen Seesalz bestimmt.

90. Dichtigkeit der Gase. Um die Dichtigkeit der Gase zu bestimmen, ist man dahin übereingekommen, sie mit der der atmosphärischen Luft, bei einem Barometerdruck von 0,76 Metres und bei der Temperatur des schmelzenden Eises zu vergleichen. Man hat ein Gas zum Vergleichungspunkte genommen, damit die Dichtigkeiten nicht

in zu kleinen Brüchen ausgedrückt zu werden brauchen, und die atmosphärische Luft dazu gewählt, weil dieses Gas auf der ganzen Erdoberfläche und zu allen Jahreszeiten von gleicher Beschaffenheit ist. Endlich nimmt man sie auch unter einem bestimmten Druck und unter einer gewissen Temperatur an, weil die Dichtigkeit der Luft in dieser Hinsicht verschieden ist.

91. Wäre die Temperatur die des schmelzenden Eises und der atmosphärische Druck = 0,76 Metres oder 30 Par. Zolle, so würde es eine sehr einfache Operation sein, die keine größere Schwierigkeiten hat, als die Bestimmung der Dichtigkeit flüssiger Körper (86); denn man brauchte nur einen erst leeren, dann mit Luft und endlich mit dem Gase, dessen Dichtigkeit man bestimmen will, angefüllten, Ballon zu wägen und bei den Operationen Sorge zu tragen, daß die Luft und das Gas dem atmosphärischen Drucke ausgesetzt seien. Sind aber die Temperatur und der Druck nicht die angegebenen, aber während der Dauer der Operation constant, so bleibt das Resultat ebenfalls dasselbe, indem die Gase, bei gleichem Druck und bei gleicher Temperatur, gleiches Verhältniß der Dichtigkeit behalten. Dies kommt daher, daß die Volumina den drückenden Kräften proportional sind, und daß sich alle Gase auf gleiche Weise ausdehnen.

92. Will man aber das absolute Gewicht eines Gases bestimmen, so ist es klar, daß man es nur in der Temperatur und unter dem Druck erhält, bei welcher die Operation vorgenommen wurde, und daß man, um das Gewicht unter jeder andern Temperatur und jedem andern Druck zu deduciren, mittelst des Mariottischen und Gay-Lussacschen Gesetzes, die nöthigen Correctionen machen müsse.

Wenn während der nothwendigen Versuche zur Bestimmung der Dichtigkeit oder des absoluten Gewichts, der Druck oder die Temperatur wechseln, so ist es augenscheinlich, daß man das Gewicht des Gases auf gleiche Temperatur und gleichen Druck zurückführen muß.

Dichtigkeit verschiedener fester Körper bei dem Nullpunkte und mit destillirtem Wasser verglichen.

Platin	gestrecktes	22,669	Glas von St. Gobin 2,488
	gezogenes (Drath)	21,041	Porzelan, chinesisches 2,384
	geschmiedetes	20,337	Porzelan von Sevres 2,145
	gereinigtes	19,500	Schwefel, natürlicher 3,033
Gold	geschmiedetes	19,361	Steinkohle, dichte 1,329
	geschmolzenes	19,258	Buchenholz 0,852
Wolfram		17,600	Eschenholz 0,745
Queckſilber		13,598	Taxusholz 0,807
Blei, geschmolzenes		11,352	Ulmenholz 0,800
Silber, geschmolzenes		10,474	Apfelbaumholz 0,733
Wismuth, geschmolzenes		9,822	Orangenbaumholz 0,705
Kupferdrath		8,878	Tannenholz 0,657
Kupfer, Garkupfer		8,788	Eis 0,930
Arsenik		8,308	Lindenholz 0,604
Nickel, geschmolzenes		8,279	Cypressenholz 0,598
Stahl, nicht gehämmerter		7,816	Cedernholz 0,561
Kobalt, geschmolzenes		7,811	Pappelbaumholz, weiße spanische 0,529
Stabeisen		7,788	Desgleichen, gewöhnliche 0,383
Zinn, geschmolzenes		7,291	Korkholz 0,240
Gußeisen		7,207	Reines Wasser 1,000
Zink, geschmolzenes		6,861	Eis 0,916
Antimon, geschmolzenes		6,712	

Dichtigkeit der am gewöhnlichsten angewendeten Flüssigkeiten, mit der des Wassers verglichen.

Concentrirte Schwefelsäure	1,840
Salpetersäure	1,217
Baumöl	0,9153
Terpentinöl	0,869
Absolutes Alkohol	0,792
Schwefeläther	0,7155

Dichtigkeit der Gase.

Benennung der Gase.	Dichtigkeit	Gewicht eines Litres bei 0° u. 0,76 Metr. Druck (in Grammen).
Luft	1,000	1,2991
Chlor	2,421	3,2088
Schweflichte Säure	2,193	2,8489
Kohlensäure	1,524	1,9805
Hydrochlorsäure	1,247	1,6205
Schwefel-Wasserstoffsäure	1,191	1,5475
Sauerstoff	1,102	1,4323
Oelbildendes Gas	0,981	1,2752
Stickstoff	0,975	1,2675
Leichtes gekohltes Wasserstoffgas	0,559	0,7270
Wasserstoff	0,0688	0,0894

Unter den Angaben über die Dichtigkeit, welche die vorstehenden Tabellen enthalten, sind die über die Hölzer, nach dem Alter, den verschiedenen Theilen des Baumes, der Zeit des Schlages und des Trocknens, der meisten Veränderungen fähig.

§. 3. Von den Dämpfen.

93. Die der Einwirkung der atmosphärischen Luft, oder irgend eines andern Gases, in irgend einer Temperatur ausgesetzten Flüssigkeiten, oder die, auf welche ein Feuer unmittelbar einwirkt, oder endlich die im luftleeren Raume befindlichen, verschwinden nach und nach [1]) und geben Veranlassung zu der Entstehung gasiger Körper, die man mit dem Namen Dämpfe bezeichnet. Um die Beschaffenheit derselben kennen zu lernen, wollen wir sie im luftleeren

---

[1]) Man kann vielleicht die klebrigen flüssigen Körper, wie die fetten Oele, die concentrirte Schwefelsäure, ausnehmen, welche keine wahrnehmbaren Dämpfe zu geben scheinen.

Raume und im Gemenge mit der Luft und mit andern Gasen untersuchen.

94. Die Dämpfe im luftleeren Raume. Professor Dalton, dem wir einen großen Theil der Theorie des Dampfes verdanken, hat folgenden Apparat angewendet, um ihre Bildung und ihre Eigenschaften in der Luftleere zu beobachten.

90. AB (Fig. 31 b.) ist ein in Grade eingetheiltes Barometer, welches in einem weiten Gefäß ruhet. Man bringt in die Röhre, durch ihren untern Theil, eine geringe Menge von einer Flüssigkeit, die, vermöge ihrer specifischen Leichtigkeit, sich durch das Queckfilber erhebt und schnell den Raum A n einnimmt. Man wird alsdann finden, daß in dem Augenblick, zu welchem die Flüssigkeit zu dem Niveau des Queckfilbers gelangt, dasselbe, bei gleichen Flüssigkeiten und bei gleicher Temperatur constant, etwas hinabgeht, die Ausdehnung des Raums im Barometer und die Menge der hineingebrachten Flüssigkeit sei übrigens welche sie wolle, vorausgesetzt, daß sie im Uebermaaß vorhanden; daß ferner, indem man die Röhre in das Gefäß tiefer einsenkt, wodurch der von den Dämpfen eingenommene Raum vermindert und diese folglich zusammengedrückt werden, ein Theil der letztern sich verdichten und der Stand des Barometers constant bleibt; daß weiter, wenn man das Barometer in die Höhe hebt, wodurch der Raum, in welchem sich die Flüssigkeit entwickelt, vermehrt wird und sie auszudehnen strebt, die im Ueberschuß vorhandenen neuen Dämpfe liefert und der Druck ebenfalls derselbe bleibt; daß endlich, wenn man keinen Ueberschuß der Flüssigkeit in den Raum gebracht haben würde, die Dämpfe sich in dem Maaße, daß man durch Aufheben der Röhre den leeren Raum in derselben vergrößert, sich ausdehnen und ihre Elasticität, durch Sinken des Queckfilbers gemessen, im umgekehrten Verhältnisse des Volums und proportional der Dichtigkeit sein würde.

96. Es geht aus diesen Beobachtungen hervor: 1) daß

eine, mit einem leeren Raume in Berührung gebrachte, Flüssigkeit sogleich alle Dämpfe entwickelt, die sich bilden können; 2) daß diese Menge der Größe des leeren Raumes proportional ist; 3) daß die Elasticität der Dämpfe unabhängig von der Größe des Raums ist; 4) daß die Dämpfe durch den Druck weder dichter noch elastischer werden; 5) und daß endlich, wenn man den Raum, welchen sie einnehmen, vergrößert, und Ueberschuß von der Flüssigkeit vorhanden ist, Dämpfe zur Erfüllung des vergrößerten Raumes gebildet werden, und daß, wenn keine Flüssigkeit mehr da ist, die Dämpfe sich wie ein Gas ausdehnen.

97. Zur Messung der Elasticität der Dämpfe in verschiedenen Temperaturen bediente sich Professor Dalton desselben Apparates, allein er umgab das Barometer mit einem Glascylinder (Fig. 32), der unten mittelst eines mit einem Loche versehenenen Pfropfes, durch welchen die Barometerröhre gesteckt, verschlossen wurde. Mittelst dieses Apparats fand Dalton: 1) daß, wenn in dem luftleeren Raume des Barometers nur Dämpfe ohne Flüssigkeit vorhanden, jene bei zunehmender Temperatur sich wie ein Gas ausdehnten; 2) daß, wenn Flüssigkeit im Ueberschuß vorhanden ist, sich neue Dämpfe bilden, und die Elasticität in einem weit stärkern Verhältnisse als die der Gase, unter gleichen Umständen, zunehmen würde. Von 0 bis 100° z. B. nimmt die Elasticität der Gase in dem Verhältnisse von 1 zu 1,375 zu, die der Wasserdämpfe, bei einem Ueberschuß der Flüssigkeit, in dem Verhältnisse von 1 zu 160.

98. Bei der Wiederholung dieser Versuche mit einer großen Menge flüssiger Körper, und indem bei jedem derselben eine andere Temperatur, von dem Gefrier- bis zu dem Siedepunkte, angewendet wurde, fand Dalton folgendes allgemeine Gesetz. Alle Dämpfe, die in dem luftleeren Raume durch einen Ueberschuß der Flüssigkeit entstehen, haben eine dem Druck der Atmosphäre, bei der Temperatur ihres Siedpunktes, gleiche Elasticität; und ihre Spannungen sind gleich den gleichmäßig von den ihres Siedpunktes

entfernten Temperaturen. Wasser z. B. kocht bei 100° C, und Alkohol bei 78°; bei diesen Tomperaturen ist die Elasticität ihrer Dämpfe gleich dem Gewicht der Atmosphäre; die des Alkohols bei 76° ist gleich der des Wassers bei 98° u. s. w. Es folgt hieraus, daß die Flüssigkeiten, welche in sehr hohen Temperaturen sieden, in niedrigen Temperaturen Dämpfe von sehr geringer Elasticität geben. Das Queckfilber z. B., welches erst bei 347° siedet, giebt auf dem Nullpunkte Dämpfe, deren Elasticität gleich der der Wasserdämpfe bei 247°, unter dem Nullpunkte, ist.

99. Aus dem eben aufgeführten Gesetze geht hervor, daß, um die Elasticität aller Flüssigkeiten in verschiedenen Temperaturen zu bestimmen, es hinreichend ist, 1) eine Tabelle zu haben, auf welcher die Elasticität der Dämpfe von einer Flüssigkeit für jeden Grad des Thermometers angeben ist, und 2) die Temperatur des Siedpunktes aller andern zu kennen.

100. Daltons Gesetz ist jedoch nicht ganz genau, wie neuerlich mehrere Physiker dargethan haben, allein man kann es als eine hinreichend scharfe Näherung ansehen, besonders bei seiner Anwendung auf Künste und Gewerbe.

101. In dem Vorhergehenden haben wir die Verdampfung der Flüssigkeiten vom Gefrier- bis zum Siedpunkte betrachtet; allein auch unter dem Gefrierpunkte entwickeln sie Dämpfe, selbst wenn sie gefroren sind; eben so in höhern Temperaturen, als der Siedpunkt in der Luft ist, wenn sie einer künstlichen Atmosphäre unterworfen sind, deren Druck höher als der der Luft ist. Im letztern Falle erfolgt das Sieden später und die Erscheinung zeigt sich nur erst dann, wenn die Flüssigkeit eine solche Temperatur angenommen hat, die hoch genug ist, daß die entwickelten Dämpfe den auf sie einwirkenden Druck überwinden können. Wir kommen später mit den speciellern Umständen auf diese Erscheinung zurück, die wir hier nur andeuten können.

Die folgende Tabelle giebt die Elasticität der Wasserdämpfe für jeden Grad des hunderttheiligen Thermometers

und den auf eine Oberfläche von einem Quadrat-Centimeter ausgeübten Druck an [1]). Wir werden in der Folge häufiger Gebrauch von diesen Zahlen machen.

Darauf folgen zwei Tabellen, in welchen der Druck in Atmosphären angeben worden ist, indem diese Art der Abschätzung häufiger angewendet wird.

Tabelle über die Spannungen des gesättigten Wassersdampfes, von 20° bis 182°.

Grade des hundert-theiligen Thermometers.	Spannung der Dämpfe in Millemetern	Druck auf ein Quadrat-Centimet., in Kilogr.	Grade des hundert-theiligen Thermometers.	Spannung der Dämpfe in Millemetern	Druck auf ein Quadrat-Centimet., in Kilogr.
—20	1,333	0,0018	21	18,317	0,0250
—15	1,879	0,0026	22	19,447	0,0265
—10	2,631	0,0036	23	20,577	0,0281
— 5	3,660	0,0050	24	21,805	0,0297
0	5,059	0,0069	25	23,090	0,0314
1	5,393	0,0074	26	24,452	0,0334
2	5,748	0,0078	27	25,881	0,0353
3	6,123	0,0084	28	27,390	0,0374
4	6,523	0,0089	29	29,045	0,0396
5	6,947	0,0094	30	30,645	0,0418
6	7,396	0,0101	31	32,410	0,0440
7	7,871	0,0107	32	34,261	0,0465
8	8,375	0,0114	33	36,188	0,0492
9	8,909	0,0122	34	38,254	0,0520
10	9,475	0,0129	35	40,404	0,0549
11	10,074	0,0137	36	42,743	0,0581
12	10,707	0,0146	37	45,038	0,0612
13	11,378	0,0155	38	47,579	0,0646
14	12,087	0,0165	39	50,147	0,0681
15	12,837	0,0170	40	52,998	0,0720
16	13,630	0,0186	41	55,772	0,0758
17	14,468	0,0197	42	58,792	0,0799
18	15,353	0,0209	43	61,958	0,08418
19	16,288	0,0222	44	65,627	0,08916
20	17,314	0,0235	45	68,751	0,09340

---

1) Bei den vielen verschiedenen Maaß- und Gewichts-Systemen in Deutschland, scheint es mir besser, auch in der Uebersetzung das französische beizubehalten, da es, zumal in der Vorrede die nöthigen Data dazu aufgeführt werden sollen, leicht ist, dasselbe auf irgend ein verlangtes Maaß oder Gewicht zu reduciren. H.

Grade des hundert-theiligen Thermometers.	Spannung der Dämpfe in Millemetern	Druck auf ein Quadrat-Centimet., in Kilogr.	Grade des hundert-theiligen Thermometers.	Spannung der Dämpfe in Millemetern	Druck auf ein Quadrat-Centimet., in Kilogr.
46	72,393	0,09835	92	566,95	0,77026
47	76,205	0,10353	93	588,74	0,79986
48	80,195	0,10900	94	611,18	0,83035
49	84,370	0,11662	95	634,27	0,86172
50	88,743	0,12056	96	658,05	0,89402
51	91,301	0,12676	97	682,59	0,92736
52	98,075	0,13325	98	707,63	0,96138
53	103,060	0,13999	99	733,47	0,99448
54	108,070	0,14710	100	760,00	1,03253
55	113,710	0,15449	106,60	950,00	1,29067
56	119,390	0,16220	112,40	1140,00	1,54880
57	125,310	0,17035	117,10	1330,00	1,80697
58	131,500	0,17866	121,55	1520,00	2,06507
59	137,940	0,18736	125,50	1710,00	2,32320
60	144,660	0,19653	128,85	1900,00	2,58134
61	151,700	0,20610	132,15	2090,00	2,83947
62	158,960	0,21586	135	2280,00	3,09760
63	165,560	0,22639	137,70	2470,00	3,35581
64	174,470	0,23758	140,35	2660,00	3,61387
65	182,710	0,24823	142,70	2850,00	3,87200
66	191,270	0,25986	144,95	3040,00	4,13013
67	200,180	0,27196	146,76	3230,00	4,38827
68	209,440	0,28454	149,15	3420,00	4,6464
69	219,060	0,29761	151,15	3610,00	4,90453
70	229,070	0,31121	153,30	3800,00	5,16267
71	239,450	0,32532	155,00	3990,00	5,42080
72	250,230	0,33996	156,70	4180,00	5,67893
73	261,430	0,35518	158,30	4370,00	5,93707
74	273,030	0,37094	160,00	4560,00	6,19520
75	283,070	0,39632	161,54	4750,00	6,45334
76	297,570	0,40428	163,25	4940,00	6,71146
77	310,490	0,42184	164,84	5130,00	6,96960
78	323,890	0,44004	166,42	5320,00	7,22773
79	337,760	0,45888	167,94	5510,00	7,48587
80	352,080	0,47834	169,41	5700,00	7,74405
81	367,000	0,49860	170,78	5890,00	8,00213
82	383,380	0,51950	172,13	6080,00	8,26026
83	398,280	0,54110	173,46	6270,00	8,51840
84	414,730	0,56345	174,79	6460,00	8,77653
85	431,710	0,58652	176,11	6650,00	9,03467
86	449,260	0,61036	177,40	6840,00	9,29280
87	467,380	0,63498	178,68	7030,00	9,55093
88	486,090	0,66040	179,84	7220,00	9,80906
89	505,380	0,68661	180,95	7410,00	10,06720
90	525,28	0,71364	182,00	7600,00	10,32532
91	547,80	0,74152			

Elasticität der Dämpfe, nach dem Druck der Atmosphären, nach Professor Christian.

Temperat. nach dem hunderttheil. Thermomet.	Druck in Atmosphären	Druck in Quadrat-Centimetern	Temperat. nach dem hunderttheil. Thermomet.	Druck in Atmosphären	Druck in Quadrat-Centimetern
100	1	1,03253	200	23	23,73819
122	2	2,06506	201	24	24,78072
135	3	3,09759	202	25	25,81325
144	4	4,13012	203	26	26,84578
151	5	5,16265	204	27	27,87831
157	6	6,19518	206	28 à 29	28,91044
162	7	7,22761	207	30	30,97550
166	8	8,26024	208	31	32,00803
170	9	9,29277	209	32	33,04096
173	10	10,32530	210	33	34,07349
176	11	11,35783	211	34	35,10602
179	12	12,39036	212	35	36,13855
182	13	13,42289	213	36	37,17108
184	14	14,45522	214	37	38,20361
186	15	15,48775	215	38	39,23614
188	16	16,52048	216	39	40,26867
190	17	17,55301			
192	18	18,58554		Nach	
194	19	19,61807		Clément.	
195	20	20,65060			
197	21	21,68313	276	40	
198	22	22,70566	650	4230	

Tabelle über die Elasticität der Wasserdämpfe, entworfen von der (französischen) Akademie der Wissenschaften.

Elasticität in Atmosphären.	Druck einer Queckfilber-Säule.	Correspondirende Temperatur.	Druck auf ein Quadrat-Centimeter.
	Meter.		
1	0,76	100°	1,033
1½	1,14	112,2	1,549
2	1,52	122	2,066
2½	1,90	129	2,582
3	2,28	135	3,099
3½	2,66	140,7	3,615
4	3,04	145,2	4,132
4½	3,42	150	4,648
5	3,80	154	5,165
5½	4,18	158	6,681
6	4,56	161,5	6,198
6½	4,94	164,7	6,714
7	5,32	168	7,231
7½	5,70	170,7	7,747
8	6,08	173	8,264

102. Außer den von Dalton zum Messen der Elasticität des Dampfes angewendeten und eben beschriebenen Apparat, kann man auch zu demselben Zweck einen andern, das sogenannte Manometer, gebrauchen, den zu kennen gut sein wird. Er besteht aus einer Glaskugel M (Fig. 34), die mit einem messingenen Deckel verschlossen ist, durch welchen die Röhre eines Heberbarometers a b c geht, und an welchem zwei Röhre mit Hähnen m und n befestigt sind. Die zweite ist an einer Bleiröhre befestigt, und diese steht mit einer Luftpumpe in Verbindung, mittelst welcher man die Kugel luftleer macht. An dem andern Hahn m ist der Schlüssel nicht von einer Seite bis zur andern durchbohrt, sondern hat bloß eine Höhlung, so daß er aus dem Trichter über dem Hahn einige Tropfen von der Flüssigkeit, welche er enthält, aufnimmt und sie herumgedreht in die Kugel fallen läßt, ohne daß der Inhalt dieser letztern mit der Luft in Verbindung käme. Es ist jetzt leicht zu sehen, wie man verfahren muß. Man macht die Kugel luftleer, bringt durch den Hahn m einen Tropfen Flüssigkeit hinein, bringt die Kugel in Bäder von verschiedener Temperatur und beobachtet das Steigen des Barometers.

103. Dichtigkeit der Dämpfe. Die Kenntniß der Dichtigkeit der Dämpfe ist in den Künsten von großer Wichtigkeit, allein ihre Bestimmung hatte große Schwierigkeiten. Gay-Lussac hat dies Problem auf eine sehr sinnreiche Weise gelöst, indem er es umkehrte. Er bestimmte das Volum der Dämpfe, welche ein gegebenes Volum Flüssigkeit, in der Temperatur seines Siedepunktes, hervorbringen kann. Der Apparat, den er zu diesem Zweck angewendet hat, besteht aus einer Glasglocke A B (Fig. 33), die in gleiche Raumtheile getheilt ist und deren Volum man genau kennt. Man füllt die Glocke mit Queckfilber an und stürzt sie in einen gußeisernen, ebenfalls mit jenem Metall angefüllten Kessel M N um. Um in die Glocke ein bestimmtes Volum von der Flüssigkeit zu bringen, bedient man sich einer sehr kleinen Glaskugel m, die in einem kurzen Haar-

röhrchen endet. Man wägt diese Kugel, wenn sie leer ist, füllt sie, indem man sie erhitzt und dann ihr Ende rasch in die einzuführende Flüssigkeit taucht, und schmilzt das Ende des Röhrchens vor dem Luftrohre zu. Von neuem gewogen, giebt die Differenz des Gewichts augenscheinlich das der Flüssigkeit, deren Volum man leicht deducirt. Die Kugel wird darauf in die Glocke AB gebracht, und wegen ihrer specifischen Leichtigkeit erhebt sie sich bald zu deren obern Ende. Alsdann giebt man Wasser in den Cylinder CD, welcher die Glocke umgiebt, und erhitzt den Kessel. Die Hitze theilt sich mit dem Queckfilber, dem Wasser in dem Cylinder und der Flüssigkeit in dem Kügelchen mit. Die Elasticität der Dämpfe, welche diese letztere bilden, zerbricht bald ihre Hülle, die Dämpfe verbreiten sich in dem obern Theile der Glocke und drücken das Queckfilber hinab. Wenn die Temperatur 100° erreicht hat, welches der Fall ist, wenn das Wasser in dem Cylinder CD siedet, so mißt man die Zahl der von den Dämpfen eingenommenen Grade, und indem man dieses anscheinende Volum mit der Ausdehnung des Glases corrigirt, so erhält man das wirkliche Volum der Dämpfe bei 100°, unter einem dem der Luft gleichen Druck, vermindert um die Höhe des Queckfilbers in der Glocke, über dem Niveau dieses Metalles in dem Kessel. Um dieses Volum auf dasjenige zu reduciren, welches unter einem atmosphärischen Druck von 0,76 Metern stattfinden würde, muß man die Differenz des Niveaus des Queckfilbers genau messen. Diese Höhe, von 0,76 Metr. abgezogen, giebt den Druck, welchen die Dämpfe tragen. Man kann alsdann mittelst des Mariotischen Gesetzes das Volum berechnen, zu welchem es unter dem atmosphärischen Druck reducirt sein würde.

104. Gay-Lussac hat auch gefunden, daß eine Gramme reines Wasser, bei 100° und einem Druck von 0,76 Met., 1,6964 Liter hervorbringe; d. h. ein Cubik-Centimeter Wasser 1696 Cubik-Centimeter Dämpfe. Demnach verhält sich die Dichtigkeit der Wasserdämpfe, bei einer Temperatur von 100° und unter einem Drucke von 0,76 Metern, wie 1 zu 1696,4, und ein Liter Wasserdämpfe wiegt $\frac{1 \text{ Gram.}}{1696,4}$.

Eben so ist die Dichtigkeit der Dämpfe auf die des Wassers bei 0° zurückgeführt $= \frac{1\text{ Gram.}}{1696,4} = 0,00059$. Da ein Liter trockene Luft, unter dem Druck von 0,76 Met. und in einer Temperatur von 100°, 1,30 Grammen $\times \frac{1}{1+0,375}$ $= \frac{1,3}{1,375} = \frac{1\text{ Gr.}}{1,0577}$ (72) (93) ist, so folgt daraus, daß sich das Gewicht der Wasserdämpfe zu dem der Luft in derselben Temperatur, wie 1,0577 zu 1,6964, oder fast wie 10 zu 16 verhalte.

105. Hat man auf diese Weise die Dichtigkeit der Dämpfe in der Temperatur des Siedpunktes bestimmt, so ist es leicht, daraus die Dichtigkeit der gesättigten Dämpfe in jeder andern Temperatur zu deduciren. Wir wollen z. B. gesättigte Dämpfe bei 50° betrachten. Erhitzt man sie bei gleichem Druck bis zu 100°, so dehnen sie sich wie ein Gas aus, und ihr Volum wird $= \frac{1 + 0,00375 \times 100}{1 + 0,00375 \times 50} = \frac{1,375}{1,187} =$ 1,1583 (72). Bezeichnet man ihre ursprüngliche Dichtigkeit mit D′, so wird die neue offenbar $= \frac{D'}{1,1583}$ werden. Die Dämpfe haben aber bei gleicher Temperatur Dichtigkeiten, die im umgekehrten Verhältnisse des Druckes, welchen sie tragen, stehen; man erhält daher folgende Proportion D (Dichtigkeit der Dämpfe bei 100° und 0,76 Met. Barometerstand) : $\frac{D'}{1,1583} = 760$ Millemet. : 88,74 (Spannung der Dämpfe bei 50°).

Es folgt daraus $D' = \frac{D \times 1,1583 \times 88,74}{760}$, und da die Dichtigkeit $D = 0,000595$ ist, so ist die gesuchte $D' =$ 0,00007 [1]).

---

[1]) Die Formel, mittelst welcher man die Dichtigkeit der gesättigten Dämpfe erhalten kann, ist $D' = \frac{DP'}{760} \frac{(1 + 0,375)}{(1 + 00375 \times t)}$, wobei P′ den Druck und D′ die Dichtigkeit der Temperatur t, D die Dichtigkeit der Dämpfe bei einem Druck von 0,76 Metr. und bei einer Temperatur von 100° bezeichnet.

Wirklich wenn die gesättigten Dämpfe von 100°, unter demselben Druck von 760 Millemetern zur Temperatur t erhoben werden, so wird

Durch ähnliche Berechnungen sind die Zahlen der folgenden Tabelle gefunden.

Tabelle über die Dichtigkeit und das Volum der gesättigten Wasserdämpfe; die Einheit ist die des Wassers auf dem Nullpunkte, und die des Volums ist die eines gleichen Gewichts Wasser bei 0°.

Temperatur.	Druck in Atmosphären.	Dichtigkeit	Volum	Temperatur.	Druck in Atmosphären.	Dichtigkeit	Volum
0°	»	0,0000053	188600	176	11	0,00536	186
5	»	0,0000073	137000	179	12	0,00581	172
10	»	0,0000097	103000	182	13	0,00625	160
15	»	0,0000131	76330	184	14	0,00670	149
20	»	0,0000173	57800	186	15	0,00716	139
25	»	0,0000227	44050	188	16	0,00760	131
30	»	0,0000297	33670	190	17	0,00805	124
35	»	0,0000390	25640	192	18	0,00849	117
40	»	0,0000499	20030	194	19	0,00891	112
45	»	0,0000637	15690	195	20	0,00937	106
50	»	0,0000710	14080	197	21	0,00980	102
55	»	0,0001022	9784	198	22	0,01017	98
60	»	0,0001261	7930	200	23	0,01057	94
65	»	0,0001592	6281	201	24	0,01108	90
70	»	0,0001964	5091	202	25	0,01149	87
75	»	0,0002388	4187	203	26	0,01189	84
80	»	0,0002936	3406	204	27	0,01230	80
85	»	0,0003557	2811	206	28—29	0,01281	78
90	»	0,0004261	2346	207	30	0,01362	73
95	»	0,0005074	1971	208	31	0,01405	71
100	1	0,00059	1696	209	32	0,01444	69
122	2	0,00110	909	210	33	0,01484	67
135	3	0,00160	625	211	34	0,01525	65
144	4	0,00210	476	212	35	0,01566	63
151	5	0,00258	387	213	36	0,01617	61
157	6	0,00306	326	214	37	0,01657	60
162	7	0,00338	295	215	38	0,01688	59
166	8	0,00399	250	216	39	0,01728	57
170	9	0,00445	224	276	40	»	»
173	10	0,00492	203	650	42,30	»	»

ihre Dichtigkeit $D \frac{(1 + 0{,}375)}{(1 + 0{,}00375 \times t)}$; allein alsdann wird sich diese Dichtigkeit zu der Dichtigkeit D′ der in der Temperatur t gesättigten Dämpfe wie der Druck verhalten, und man hat folgendes Verhältniß:

$$D \frac{(1 + 0.375)}{(1 + 0{,}00375 \times t)} : D' = 760 : P',$$

woraus man die obige Formel ableitet.

106. Nach dem Gesagten kann man das Gewicht eines gegebenen Volums gesättigter Dämpfe leicht bestimmen; denn die Gewichte der Dämpfe bei gleichem Volum sind ihren Dichtigkeiten proportional. Demnach wird es hinreichend sein, das Gewicht eines bestimmten Volums gesättigter Dämpfe von 100° und die Dichtigkeiten aller andern zu kennen, um das Gewicht eines Volums von irgend einem Dampfe für alle übrigen Temperaturen zu erhalten. Diese Bestimmung ist sehr leicht: denn wenn wir die Dichtigkeit der Dämpfe bei 100° durch D, die Dichtigkeit der Dämpfe bei irgend einer Temperatur t, durch D′, und durch P und P′, die relativen Gewichte dieser beiden Dampfmassen, bezeichnen, so erhalten wir folgende Proportion: P : P′ = D : D′; das Gewicht P′ eines Kubikmeters gesättigter Dämpfe bei 100° ist $= \frac{1000 \text{ Kilogr.}}{1693} = 0{,}59$ Kilogrammen und D = 0,00059. Folglich wird die obige Proportion 0,59 Kilogr. : P′ = 0,00059 : D′, woraus man $P' = \frac{D' \times 0{,}59}{0{,}00059} = D' \times 1000$ ableitet. Demnach ist das Gewicht eines Kubikmeters in Kilogrammen gleich der Dichtigkeit, multiplicirt mit 1000. Will man das Gewicht in Grammen ausgedrückt haben, so muß man die Dichtigkeit noch mit 100 multipliciren. Auf diese Weise bildet man die folgende Tafel.

Tabelle über das Gewicht eines Kubikmeters gesättigter Dämpfe in verschiedenen Temperaturen.

Temperatur.	Gewicht in Grammen.	Temperatur.	Gewicht in Grammen.
0°	5,3	55	102,20
5	7,3	60	126,10
10	9,7	65	159,20
15	13,10	70	196,40
20	17,30	75	238,80
25	22,70	80	293,60
30	29,70	85	355,70
35	39,00	90	426,10
40	49,90	95	507,40
45	63,70	100	590
50	71,00		

107. Gay-Lussac hat durch dasselbe Verfahren die Dichtigkeit verschiedener anderer Dämpfe gefunden, die in der folgenden Tabelle aufgeführt wird. Die Dichtigkeit ist auf die Luft, bei einer Temperatur von 0° und unter einem Druck von 0,76 Metern zurückgeführt.

Wasserdämpfe	0,6235
Dämpfe von reinem Alkohol	1,6133
Dämpfe von Terpentinöl	5,0130
Dämpfe von Schwefeläther	2,5860
Dämpfe von Schwefel-Kohlenstoff	2,6447

108. Das Verhältniß der Dichtigkeit gesättigter Dämpfe zu der der Luft, bei gleicher Temperatur und unter gleichem Druck, ist eine constante Zahl, gleich der Dichtigkeit der Dämpfe in der Temperatur des Siedpunktes, durch Rechnung zu der auf 0° zurückgeführt, verglichen mit der der Luft auf dem Nullpunkte und unter einem Druck von 0,76 Metern. Um demnach das Gewicht eines Liters gesättigter Dämpfe von irgend einer Temperatur zu erhalten, ist es hinreichend, das Gewicht eines Liters Luft unter diesen Umständen zu berechnen und dieses mit der in obiger Tabelle enthaltenen Dichtigkeit zu multipliciren [1]).

Die Dämpfe in den Gasen.

109. Um die Erscheinungen, welche die Gemenge der Dämpfe und Gase zeigen, zu beobachten, bedient man sich

---

[1]) Bei der Temperatur t und unter dem Drucke p wird die Dichtigkeit der Luft durch $1 \times \frac{p}{0,76} \times \frac{1}{1 + 0,00375\ t}$; die der Dämpfe durch $\frac{Dp}{0,76} \frac{1 + 0,00375\ T}{1 + 0,00375\ t}$ bezeichnet. D ist dabei die Dichtigkeit der Dämpfe unter dem Druck von 0,76 Met. und bei der Temperatur T, und T die Temperatur des Siedens. Das Verhältniß der zweiten Dichtigkeit zur ersten ist $D\ (1 + 0,00375\ T)$, eine constante Zahl. Wenn man, statt die Dichtigkeit der Dämpfe bei der Siedhitze zu nehmen, sie bei 0° nimmt, indem man diese neue Dichtigkeit D′ nennt, so müßte man dies neue Verhältniß durch $1 + 0,00375\ T$ dividiren, wodurch es auf diese Weise auf D′ reducirt werden würde.

des Apparats Fig. 34. Nachdem man die Kugel luftleer gemacht hat, bringt man das Gas hinein, dessen Spannung das Barometer a b c mißt, und durch den Hahn n läßt man die Flüssigkeit in die Kugel fallen, die in Dämpfe verwandelt werden soll, und darauf bringt man das Manometer in ein Bad von passender Temperatur. Dalton hat durch dieses Verfahren gefunden, 1) daß die Dämpfe, die sich in dem Gase entwickeln, nicht sogleich den von dem Gase eingenommenen Raum sättigen; 2) daß die Elasticität der Gemenge von Gas und Dämpfen gleich ist der des Gases, vermehrt durch die der Dämpfe, die sich in dem luftleeren Raume bei gleicher Temperatur entwickeln würden; 3) daß die Menge der Dämpfe, die sich in einem Gase bildet, gleich ist derjenigen, die sich in einem gleichen leeren Raume und in derselben Temperatur bilden würde.

110. Es folgt daraus, daß sich die Dämpfe in den Gasen wie in dem luftleeren Raume entwickeln, und daß die Gase der Verdampfung bloß ein mechanisches Hinderniß entgegensetzen, welches dieselbe aufhält. Demnach ist der Aufenthalt der Dämpfe in den Gasen derselbe, welcher er in einer Luftleere von gleichem Volum und von gleicher Temperatur ist; das Gas entzieht sie dem Drucke, welcher sie verdichten würde, und sie tragen eigentlich nur die, welche aus ihrer Entwickelung im luftleeren Raume verfolgt.

111. Da es von Wichtigkeit ist, die Menge der Dämpfe zu kennen, welche die Luft in verschiedenen Temperaturen, und unter gewöhnlichem Drucke, aufgelöst enthalten kann, so geben wir eine Tabelle darüber. Die Berechnungen sind für ein Kubikmeter Luft gemacht worden. Um die Methode, welche dabei befolgt ist, zu zeigen, machen wir die Berechnung für eine Temperatur von 50° [1]).

---

[1]) Ein Kubikmeter bei 50° gesättigter Dämpfe wiegt (wie eben angegeben wurde) 71 Grammen. Wären diese Dämpfe in einem Kubikmeter Luft von 50° und unter einem Drucke von 0,76 Metr. befindlich, so würde das Gemenge eine Elasticität erlangen, die gleich der der

Tabelle über das Gewicht der, in einem Kubikmeter gesättigter Luft von verschiedener Temperatur und unter dem Druck von 0,76 Metern eingeschlossenen, Dämpfe.

Temperatur.	Gewicht der Dämpfe in Grammen.	Temperatur.	Gewicht der Dämpfe in Grammen.
0°	5,2	55	88,74
5	7,2	60	105,84
10	9,50	65	127,20
15	12,83	70	141,96
20	16,78	75	173,74
25	22,01	80	199,24
30	28,51	85	227,20
35	37,00	90	251,34
40	46,40	95	273,78
45	58,60	100	295.
50	63,63		

Hygrometrie.

112. Mit dem Namen Hygrometrie bezeichnet man einen Theil der Physik, welcher die Messung der in den Gasen enthaltenen Menge von Wasserdämpfen zum Gegenstande hat. Die Instrumente, welche zum Messen des Grades der Feuchtigkeit der Gase dienen, heißen Hygrometer.

113. Alle bekannten Hygrometer sind auf die Veränderungen des Volums gegründet, welche die größere oder geringere Feuchtigkeit der Atmosphäre bei den meisten vegetabilischen und animalischen Substanzen hervorbringt. Das

---

Luft und der Dämpfe für sich, d. h. gleich 0,76 Metr. + 0,088 Metr. = 0,848 Metr. sein würde. Wenn man dann dies Gemenge durch die Ausdehnung auf den Druck von 0,76 Metr. zurückführt, so wird das Volum $1 \times \frac{848}{760} = 1{,}11578$. Folglich wird das Gewicht des in einem Kubikmeter Luft von 50° eingeschlossenen Dampfes = 71 Gr. $\times \frac{1}{1{,}11578} = 63{,}63$ sein.

Papier, das Pergament und alle Thierhäute dehnen sich durch die Feuchtigkeit aus, die hanfenen Seile und die Darmsaiten drehen sich und werden kürzer, die Haare werden länger. Man wird sich daher das Spiel der aus Pappe bestehenden Hygrometer, welche verschiedene Gegenstände darstellen und bei denen ein bewegliches Stück an das Ende einer kleinen Darmsaite befestigt ist, so wie das derjenigen, die aus einem gläsernen Haarröhrchen mit einer Röhre von einer Federspule an dem einen Ende, oder mit einer mit Queckſilber angefüllten Mauseblase bestehen, erklären können. Diese letztern haben ganz das Ansehn eines Thermometers, allein es sind hauptsächlich die Ausdehnungen und Zusammenziehungen der Umgebung des Reservoirs, durch den hygrometrischen Zustand der Luft, wodurch das Queckſilber steigt und fällt.

114. Von allen bekannten Hygrometern giebt es nur ein einziges, dessen Angaben unter gleichen Umständen und mit verschiedenen Instrumenten gleich sind; es ist das von de Saussure erfundene. Dieses Instrument besteht aus einem messingenen Rahmen **A B C D** (Fig. 35), an dessen obern Ende mittelst einer kleinen Stange a das Ende eines Haares befestigt ist. Mittelst eines Gewichts c wird es gespannt und wickelt sich über die Peripherie eines kleinen Cylinders b, der in seiner Axe beweglich und mit einem an derselben sitzenden Zeiger m n versehen ist, dessen eines Ende den Theil des Quadranten p q durchläuft. Indem sich nun das Haar durch die Feuchtigkeit verlängert und auf der Peripherie des Cylinders b nicht gleiten kann, drehet es diesen und der Zeiger durchläuft eine mit dieser Verlängerung im Verhältniß stehende Anzahl von Graden. Bei der Construction des Instruments siedete Herr von Saussure das Haar zuvörderst in einer Auflösung von etwas Kali in Wasser, um alle fettige Matterie, welche es bedeckt, aufzulösen, alsdann stellte er das Hygrometer in ein Gefäß, welches sehr leicht zerfließende Materien, als gebrannten Kalk, salzsauren Kalk ꝛc. enthielt, und in welchem daher die Luft

vollkommen trocken war. Der Zeiger m n stand auf einem gewissen Punkt des Quadranten p q, und an dieser Stelle bemerkte Saussure 0°, oder die größte Trockenheit. Darauf stellte er das Hygrometer in ein anderes Gefäß, dessen Seiten befeuchtet und dessen Luft bald mit Feuchtigkeit gesättigt war. Der Zeiger drehete sich und stand bald an einem andern Punkte fest, an welchem man 100° oder die größte Feuchtigkeit bezeichnete. Der Zwischenraum zwischen beiden Punkten wurde darauf in 100 Theile getheilt. Ist das Hygrometer mit Sorgfalt angefertigt, so bemerkt man: 1) daß bei gleichen Umständen seine Angaben stets gleich sind; 2) daß bei jeder Temperatur der Luft, wenn selbige gesättigt, der Zeiger stets auf 100°, und wenn selbige vollkommen trocken ist, er auf 0° der Skala stehen bleibt [1]).

115. Man kann daraus folgern, daß die hygrometrische Wirkung des Haares constant sei; daß die Wirkung der Temperatur, zur Veränderung seiner Länge innerhalb der Gränzen der Temperatur der Atmosphäre, so weit unsere Beobachtungen reichen, nichts ist; daß endlich, die Temperatur der Luft sei welche sie wolle, vorausgesetzt, daß sie mit Dämpfen gesättigt ist, das Haar stets eine gleiche Menge Wasser aufnimmt, da es sich auf gleiche Weise verlängert.

116. Diese letztere aus der Beobachtung hervorgegangene Folgerung scheint auf den ersten Blick schwer begreiflich zu sein; denn die Menge der Dämpfe, welche die Luft in verschiedenen Temperaturen sättigt, ist sehr verschieden; allein es muß bemerkt werden, daß wenn die Luft mit Dämpfen gesättigt ist, der geringste Druck, die geringste Verminderung der Temperatur, oder die geringste Kraft hinreichend sind, um einen Theil der Dämpfe in Wasser

---

[1]) Das beste Hygrometer ist unstreitig das Daniellsche, welches man in jedem physikalischen Lehrbuche, unter andern auch in Fischers Lehrbuche der mechanischen Naturlehre, Bd. I. S. 412 ꝛc., beschrieben findet. H.

zu verwandeln. Oder da die Affinität des Haars zu dem Wasser, so gering sie auch sein möge, stets hinreichend ist, um einen Theil dieser Dämpfe in Wasser zu verwandeln; und da die Menge des zur Sättigung des Haares erforderlichen Wassers im Vergleich zu dem, welches die umgebende Luft sättigt, stets sehr klein ist, so endigt die Erneuerung der das Haar umgebenden Wasserschichten immer dahin, daß sie ihm dieselbe Wassermenge abgeben.

117. Demnach sind die Angaben des Saussureschen Hygrometers unabhängig von der Temperatur; sie bezeichnen bloß die mehr oder minder vollkommene Sättigung der Luft in der Temperatur der Beobachtungszeit.

118. Um aus den Angaben des Saussureschen Hygrometers die Spannung der Dämpfe abzuleiten, muß man die jedem Grade des Hygrometers correspondirende Spannung der Dämpfe kennen, und zwar für alle Temperaturen. Gay-Lussac ist zu der Bestimmung dieser Spannung, für eine gewisse Temperatur, die von zehn Grad des Celsius'schen Thermometers, durch ein sehr sinnreiches Mittel gelangt. Es giebt Substanzen, die eine so große Affinität zum Wasser haben, daß sie die Luft, in welche sie gebracht werden, rasch und vollkommen trocknen; sind sie aber schon mit einer gewissen Wassermenge verbunden, so wird diese hygrometrische Wirkung geringer, und wenn man die Wassermenge nach und nach vermehrt, so entwickeln sie bald Dämpfe in zunehmender Menge für dieselbe Temperatur und sättigen am Ende den Raum, welcher sie umgiebt, vollständig mit Dämpfen, wie reines Wasser. Bringt man daher diese salzigen Auflösungen, deren Spannung vorher bestimmt wurde, indem man sie in dem Torricellischen Raum eines Barometers brachte, in eine Kugel voll trockner Luft, in welcher ein Hygrometer befindlich ist, so erhält man die, den Hygrometer-Angaben correspondirende Spannung der Dämpfe. Auf diese Weise hat Gay-Lussac folgende Tabelle aufgestellt.

Tabelle über die den Hygrometergraden bei 10° C correspondirende Elasticität der Dämpfe, ausgedrückt in Zehntheilen der Spannung auf dem Sättigungspunkte.

Spannung der Dämpfe.	Correspondir. Hygrometer-Grade.	Spannung der Dämpfe.	Correspondir. Hygrometer-Grade.	Hygrometer-Grade.	Correspondir. Spannung der Dämpfe.	Hygrometer-Grade.	Correspondir. Spannung der Dämpfe.
0°	0,00	51	72,94	0°	0,00	51	28,58
1	2,19	52	73,68	1	0,45	52	29,38
2	4,37	53	74,41	2	0,30	53	30,17
3	6,56	54	75,14	3	1,35	54	30,97
4	8,75	55	75,87	4	1 80	55	31,76
5	10,94	56	76,54	5	2,25	56	32,66
6	12,93	57	77,21	6	2,71	57	33,57
7	14,92	58	77,88	7	3,18	58	34,47
8	16,92	59	78,55	8	3,64	59	35,37
9	18,91	60	79,22	9	4,10	60	36,28
10	21,91	61	79,84	10	4,57	61	37,31
11	22,81	62	80,46	11	5,05	62	38,34
12	24,71	63	81,08	12	5,52	63	39,36
13	26,61	64	81,71	13	6,00	64	40,39
14	28,51	65	82,32	14	6,48	65	41,42
15	30,41	66	82,90	15	6,96	66	42,58
16	32,08	67	83,48	16	7,46	67	43,73
17	33,76	68	84,06	17	7,95	68	44,49
18	35,43	69	84,64	18	8,45	69	46,04
19	37,11	70	85,22	19	8,95	70	47,19
20	38,78	71	85 77	20	9,45	71	48,51
21	40,27	72	86,37	21	9,97	72	49,82
22	41,76	73	86,86	22	10,49	73	51,14
23	43,26	74	87,41	23	11,01	74	52,45
24	44,75	75	87,95	24	11,53	75	53,76
25	46,24	76	88,47	25	12,15	76	55,25
26	47,56	77	88,99	26	12,59	77	56,74
27	48,85	78	89,51	27	13,14	78	58,24
28	50,18	79	90 03	28	13,69	79	59,73
29	51,49	80	90,55	29	14,23	80	61,22
30	52,81	81	90,05	30	14,78	81	62,89
31	53,96	82	91,55	31	15,36	82	64,57
32	55,11	83	92,05	32	15,94	83	66,24
33	56,27	84	92,54	33	16,32	84	67,92
34	57,42	85	93,04	34	17,10	85	69,59
35	58,58	86	93,52	35	17,68	86	71,49
36	59,61	87	94	36	18,30	87	73,39
37	60,64	88	94,48	37	18,92	88	75,29
38	61,66	89	94,95	38	19,54	89	77,19
39	62,69	90	95,43	39	20,16	90	79,09
40	63,72	91	95,90	40	20,78	91	81,09
41	64,65	92	96 36	41	21,45	92	83,08
42	65,53	93	96,82	42	22,12	93	85,08
43	66,43	94	97,29	43	22,79	94	87,07
44	67,34	95	97,75	44	23,46	95	89,06
45	68,24	96	98,21	45	24,13	96	91,25
46	69,03	97	98,69	46	24,86	97	93,44
47	69,83	98	99,10	47	26,59	98	95,63
48	70,62	99	99,55	48	26,32	99	97,81
49	71,42	100	100	49	27,06	100	100
50	72,21			50	27,79		

119. Die erste Tabelle giebt die Hygrometergrade, die jedem Zehntel der Elasticität gesättigter Dämpfe bei 10° correspondiren, an; die zweite die Elasticität der Dämpfe, die jedem Hygrometergrade correspondiren.

120. Diese Tabelle ist das Resultat der in einer Temperatur von 10° gemachten Beobachtungen, und genau genommen, nur für diese Temperatur anwendbar. Jedoch kann man sie auch als eine hinlängliche Annäherung für alle Temperaturen von 0 bis 100° ansehen.

121. Kennt man auf diese Weise die Spannung der Dämpfe und auch die Temperatur, so ist es mittelst der Tabelle (s. 105) leicht, die Dichtigkeit und darauf das Gewicht der Wasserdämpfe in einem gegebenen Volum Luft zu bestimmen.

122. Bei dem Besteigen hoher Berge und beim Aufsteigen in den Aerostaten hat man bemerkt, daß, je höher man sich in der Atmosphäre erhebt, die Luft, welche fortwährend dünner wird, zugleich auch an Wärme und auch an hygrometrischer Kraft abnimmt.

§. 4. Specifische Wärme.

123. Alle Körper von gleichem Gewicht erfordern ungleiche Wärmemengen, um ihre Temperatur zu einer gleichen Anzahl Grade zu erheben. Z. B. ist die Wärmemenge, die erforderlich ist, um eine Kilogramme Wasser auf 3° zu erwärmen, hinreichend, um ein gleiches Gewicht Queckſilber auf 100° zu erheben. Die Menge der Wärme, die von gleichen Gewichten der Körper absorbirt wird, um ihre Temperatur auf eine gleiche Anzahl Grade zu erheben, wird specifische Wärme oder Wärmecapacität genannt. Um diese zu messen, vergleicht man sie mit der des Wassers, die man als Einheit annimmt.

124. Die Bestimmung der specifischen Wärme eines Körpers kann man, wie sich leicht einsehen läßt, nur machen, wenn man die Wärme benutzt, die sich aus einem Körper während einer bekannten Abnahme der Temperatur entwickelt,

und deren Wirkung im Verhältniß zu dieser aus dem Körper entwickelten Wärme steht. Von allen von der Wärme hervorgebrachten Wirkungen, ist die Schmelzung des Eises diejenige, welche die geeignetste zu dem fraglichen Gegenstande zu sein scheint; denn dieser Körper schmilzt, wie wir später sehen werden, stets in derselben Temperatur, und wenn man eine Eismasse der Wirkung eines Heerdfeuers aussetzt, so wird das von dem geschmolzenen Eise kommende Wasser doch nicht erwärmt, so lange ungeschmolzenes Eis vorhanden ist, und endlich erfordern gleiche Gewichtsmengen Eis auch immer gleiche Wärmemengen zum Schmelzen. Könnte man sich demnach eine hohle Eiskugel verschaffen, und in dieselbe nach und nach Körper von gleichem Gewicht und von gleicher Temperatur bringen, so würden die Eismengen, die sie bis zu ihrer gänzlichen Abkühlung geschmolzen hätten, ihrer Wärmecapacität proportional sein. Das von Laplace und Lavoisier erfundene Calorimeter, mittelst welchem diese berühmten Physiker eine große Menge von Wärmecapacitäten bestimmt haben, ist dem, welchen wir beschrieben haben, analog.

125. Calorimeter von Laplace und Lavoisier. Dieser Apparat besteht aus drei cylindrischen und concentrischen Büchsen ABCD, EFGH und IKLM (Fig. 36). Die erste besteht aus Messingdrath, die beiden letztern aus Weißblech. Die erste ist zur Aufnahme des Körpers bestimmt, dessen Wärmecapacität man messen will; der Raum zwischen der ersten und zweiten, so wie der zwischen der zweiten und dritten, sind mit Eis ausgefüllt. Beide Räume stehen mittelst Röhren, die mit Hähnen versehen sind, mit dem Aeußern in Verbindung, und durch dieselben fließt das Wasser ab, welches sich in diesen beiden Räumen bildet. Die äußere Büchse wird aber mit einem Deckel verschlossen, der mit einem gebogenen Rande versehen ist, auf welchen Eis gelegt werden kann. Wegen dieser Einrichtung ist es natürlich, daß die von der Erkaltung des in dem Cylinder ABCD eingeschlossenen Körpers herrührende Wärme ganz auf das in den Raum EFGH eingeschlossene Eis, welches ihn von allen Seiten umgiebt,

übergehen und ganz dazu angewendet werden wird, einen Theil davon zu schmelzen. Keine andere Ursache kann zu derselben Wirkung beitragen, denn das Eis ist von dem Raume IKLM umgeben, auf welchen allein die Luft einwirken kann; das Eis, welches er enthält, erhält den Raum EFGH in derselben Temperatur, und da die Räume nicht mit einander in Verbindung stehen und die Röhren, mittelst welcher das Wasser abläuft, auch von einander getrennt sind, so wird das durch den Hahn O ablaufende Wasser lediglich durch die Abkühlung des Wassers hervorgebracht. Um jedoch genaue Resultate zu erhalten, muß man folgende Vorsicht anwenden: 1) muß die Temperatur der Luft mehrere Grade über den Nullpunkt stehen, damit das Wasser nicht von Neuem gefriert; 2) das Eis muß schon zu schmelzen begonnen haben, denn wenn es eine unter 0° befindliche Temperatur hätte, so würde ein Theil der Wärme dazu erforderlich sein, die Schmelzung herbeizuführen, und da es zu Anfang der Operation trocken und zu Ende derselben feucht sein würde, so würde nicht alles geschmolzene Wasser ablaufen.

Bringt man daher in das Calorimeter verschiedene Körper von gleichem Gewicht und von gleicher Temperatur, so werden die Wärme-Capacitäten derselben proportional den Wassermengen sein, die man durch den Hahn auffängt. Allein bei dem Verfahren ist keine gleiche Temperatur und kein gleiches Gewicht der Körper erforderlich; man braucht nur das Gewicht und die anfängliche Temperatur derselben genau zu kennen, denn die Menge des geschmolzenen Eises ist genau dem Gewicht der Körper und auch auf eine bemerkbare Weise ihrer Temperatur proportional.

126. Da es bei flüssigen Substanzen unerläßlich ist, dieselben in Gefäßen einzuschließen, so müßte man von der ganzen Menge des geschmolzenen Eises diejenige abziehen, die durch die Erkaltung des Gefäßes geschmolzen ist. Diese letztere Menge erhält man leicht durch einen Versuch, bei welchem man nur in den innersten Raum das Gefäß allein in der Temperatur der Flüssigkeit, welche man hineingethan hatte, stellt.

127. Die Bestimmung der Wärmecapacität der Gase könnte mittelst desselben Apparates geschehen; allein da das Volum des Gases, welches in dem innern Cylinder Platz finden könnte, zu klein ist, um die zur Schmelzung einer bedeutenden Eismenge erforderliche Wärme zu entwickeln, so müßte man den Cylinder ABCD durch eine Schlangenröhre ersetzen, die in dem Raume EFGH herumliefe und die durch ihre beiden Enden mit dem Aeußern in Verbindung stände. Man müßte durch dieselbe einen Gasstrom ziehen lassen, dessen Volum und Temperatur beim Ein- und Ausgange bestimmt werden müßten.

128. Verfahren bei Gemengen. Wenn man gleiche Gewichtstheile zweier Flüssigkeiten zusammen vermischt, oder wenn man in eine Flüssigkeit ein gleiches Gewicht von einem festen Körper eintaucht und sich dabei keine chemische Wirkung zeigt, so wird, wenn die specifische Wärme der vermengten Körper gleich ist, die Temperatur des Gemenges die mittlere von der der Körper vor ihrer Vermengung sein. Dieser Satz ist klar, und mittelst desselben kann man es leicht beweisen, daß die specifische Wärme eines Körpers constant oder doch mindestens nur sehr wenig verschieden ist. Wenn man z. B. 1 Kilogramme Wasser von 20° mit 1 Kilogr. von 50° vermischt, so erhält man 2 Kilogr. von 35°. Folglich ist die Wärme, die sich aus der zweiten Masse, indem sich dieselbe von 50 zu 35° abkühlte, entwickelt, gleich der, welche die erste absorbirt hat, um sich von 20 zu 35° zu erwärmen. Das Wasser absorbirt demnach so viel Wärme, um von 20 zu 35°, als um von 35° zu 50 zu steigen.

129. Wenn aber die specifische Wärme der mit einander vermengten Körper nicht gleich wären, so würde die zuletzt erfolgende Temperatur nicht die mittlere von den anfänglichen sein. Wenn man z. B. 1 Kilogr. Wasser von 0° mit 1 Kilogr. Queckſilber von 100° vermengte, so würde die Temperatur des Gemenges 3° sein. Folglich hat die von dem Queckſilber entwickelte Wärmemenge, um die Temperatur des Queckſilbers um 97° zu vermindern, dasselbe Gewicht Wasser nur 3° er-

wärmt. Die specifische Wärme des Wassers verhält sich daher zu der des Queckſilbers, wie 97 : 3 oder wie 32,33 : 1. Man sieht durch dieses Beispiel leicht, wie man zu der Bestimmung der relativen Wärmecapacität aller Körper, die nicht chemisch auf einander einwirken, gelangt, sobald man gleiche Massen behandelt. Sind die Gewichte ungleich, so ist es mittelst der in unten stehenden Anmerkung aufgeführten Formel leicht, das Verhältniß der specifischen Wärme zu deduciren [1]).

130. Die Bestimmung der specifischen Wärme mittelst Gemengen erfordert mehrere Correctionen, ohne die man auf die erhaltenen Resultate nicht rechnen darf. Die erste bedarf die von dem Gefäße absobirte Wärme, die zweite bezieht sich auf die Strahlung und auf die Verdampfung, welche, während die Mengung geschieht, stattfindet und die einen mehr oder minder großen Wärmeverlust herbeiführen.

131. Was die erstere Correction betrifft, so ist es augenscheinlich, daß man die Menge der von dem Gefäß absorbirten Wärme kennen muß. Man gelangt zu der Kenntniß derselben sehr leicht durch ein vorläufiges Experiment, bei welchem man in das Gefäß nur eine Flüssigkeit, die deren specifische Wärme gegeben ist, thut. Alsdann bestimmt man die specifische Wärme des Gefäßes auf die angegebene Weise, wie

---

[1]) Wenn man bei ungleichen vermengten Massen diese mit m und m′, ihre anfänglichen Temperaturen mit t und t′, die Temperatur des Gemenges mit T und das specifische Gewicht der beiden Körper, oder die Menge Eis, welche von der Einheit der Masse, indem sie sich bis 1° abkühlt, geschmolzen wird, mit x und y bezeichnet. Indem man ferner t größer als T annimmt, so wird die von dem erstern Körper verlorne Wärme offenbar m x (t — T) und die von dem andern empfangene Wärme m′ y (T — t′) sein; oder da die zweite Masse nur das gewonnen, was die andere verloren hat, so folgt daraus die Gleichung $m\,x\,(t - T) = m'\,y\,(T - t')$ und hieraus $\frac{x}{y} = \frac{m'}{m}\,\frac{T - t'}{t - T}$. Demnach verhält sich also die specifische Wärme des ersten Körpers zu der des zweiten umgekehrt, wie die Massen und wie die Zunahme der Temperatur des zweiten zur Abnahme der Temperatur des ersten.

man die der Flüssigkeiten bestimmte. Oder wenn man den Versuch in einer dem Gemenge nahe stehenden Temperatur macht, so wird die Zahl der Grade, um die sich die Temperatur der Flüssigkeit vermindert, sichtlich gleich derjenigen sein, um die man die Temperatur des Gemisches vermehren muß, um die Correction wegen Einfluß des Gefäßes anzubringen.

132. Die auf die Strahlung sich beziehende Correction würde weit schwieriger zu erhalten sein; allein man kann sie auf eine sehr einfache Weise vermeiden, indem man die Massen von solchen Temperaturen nimmt, daß die des Gemenges wenig von der der Atmosphäre verschieden ist. Wenn die mit einander vermengten Körper flüssig sind, oder der eine fest oder sehr fein pulverisirt ist, so wird das Gleichgewicht der Temperatur in sehr kurzer Zeit hergestellt. Die Operation kann dann sehr schnell gemacht und die gedachte Correction unterlassen werden.

133. Das Verfahren mittelst der Gemenge kann auch bei der Bestimmung des specifischen Wärmestoffes aller Körper angewendet werden; denn für jeden festen Körper läßt sich ein flüssiger finden, der keine chemische Wirkung auf ihn hat, und für jeden flüssigen Körper existiren auch feste oder flüssige, welche dieselben Eigenschaften besitzen. Dieses einfache Verfahren erfordert keinen besondern Apparat und giebt immer hinlänglich annähernde Resultate für die Anwendung in den Künsten; ich habe oft Gebrauch davon gemacht.

134. Rumfords Calorimeter. Dieser Apparat (Fig. 37) besteht aus einem länglich viereckigen Kasten von dünnem Kupferblech und mit einem Schlangenrohr versehen, dessen beide Enden sich bis nach Außen zu verlängern. Eins von den Enden der Schlangenröhre endigt in einen umgekehrten Trichter P Q. Am obern Theile des Kastens ist eine mit einem Stöpsel verschlossene Röhre, durch welche ein Thermometer in den Kasten gebracht wird, befindlich.

Dieses Instrument kann aber nur zur Bestimmung der durch das Flüssigwerden der Dämpfe und der Verbrennung verschiedener Substanzen entwickelten Wärme angewendet wer-

den. Zu dem Ende füllt man den Kasten mit Wasser von einer gewissen Temperatur an und läßt durch die Schlangenröhre den Strom von Dämpfen oder den Rauch, der sich von dem Brennmaterial, welches man unter dem Trichter P Q verbrennt, entwickelt, gehen und deducirt aus der Temperatur und dem Gewichte des in dem Kasten enthaltenen Wassers, die entwickelte Wärme. Man muß auch auf die Temperatur der Flüssigkeit oder des Gases, welche aus der Oeffnung O ausströmen, Acht haben. Dasselbe müßte auch der Fall mit der von dem Kasten und dem Schlangenrohre, so wie mit der durch die Strahlung absorbirten Wärme sein, wie es bei dem Verfahren mit Gemengen ist. Diese letztere Correction würde bei ihrer richtigen Schätzung große Schwierigkeiten haben; allein Graf Rumford hat sie durch ein sehr sinnreiches Mittel unnöthig gemacht, und dieses besteht darin, daß man in den Kasten Wasser giebt, welches um so viel Grade kälter ist, als die Temperatur-Zunahme derselben Flüssigkeit am Ende der Operation betragen muß. Alsdann erwärmt die Luft während der Hälfte des Experiments den Kasten, und während der andern Hälfte kühlt sie ihn ab, und da beide Wirkungen einander gleich sind, so hört der Einfluß der Strahlung des Kastens auf. Um diese Bedingung zu erfüllen, ist es hinreichend, die Operation aufzuhalten, wenn die Flüssigkeit im Kasten die Temperatur der Luft um so viel Grade übersteigt, als sie zu Anfang des Experiments geringer war; und wenn man nicht im Stände wäre, die Operation aufzuhalten, so müßte man durch einen vorhergehenden Versuch die ganze Erhöhung der Temperatur der Flüssigkeit bestimmen, und man könnte dann die Abnahme der Temperatur, welche sie erleiden muß, davon leicht ableiten.

135. Unabhängig von dem beschriebenen Verfahrungsarten, haben mehrere Physiker auch andere angewendet, die auf die Gesetze der Abkühlung gegründet sind; allein die Gränzen dieses Werkes erlauben es nicht, sie hier zu erwähnen.

Specifische Wärme mehrerer festen und flüssigen Körper, mit der des Wassers verglichen; nach den Bestimmungen von Laplace und Lavoisier.

Benennung der Substanzen.	Specifische Wärme.
Wasser	1,00000
Blei	0,02819
Queckſilber	0,02900
Zinn	0,04754
Zinnober	0,05010
Stabeiſen	0,11051
Bleifreies Glas	0,19290
Schwefel	0,20850
Gebrannter Kalk	0,21691
Baumöl	0,30960
Schwefelſäure (Dichtigkeit 1,87058)	0,33460
Rauchende Salpeterſäure (Dichtigkeit 1,2989)	0,66139

Specifische Wärme, nach den Bestimmungen von Dulong und Petit.

Benennung der Substanzen.	Mittlere specifische Wärme zwischen 0 und 100°.	Mittlere specifische Wärme zwischen 0 und 300°.
Wasser	1,0000	
Queckſilber	0,0330	0,0350
Platin	0,0335	0,0355
Antimon	0,0507	0,0547
Silber	0,0557	0,0611
Zink	0,0927	0,1015
Kupfer	0,0940	0,1013
Eiſen	0,1098	0,1218
Glas	0,1770	0,1900

136. Diese Tabellen geben die relativen Eismengen, die durch ein gleiches Gewicht dieser verschiedenen Substanzen geschmolzen werden, indem sie sich eine gleiche Menge von Graden abkühlen, an, oder die relativen Wärmemengen, welche nöthig sind, um ein gleiches Gewicht dieser Körper um eine Anzahl Thermometer-Grade zu erwärmen.

137. Um daraus die absolute Eismenge zu deduciren, welche eine bestimmtes Gewicht dieser Körper, indem sie sich um eine gewisse Anzahl von Graden abkühlen, schmelzen können, muß man diese Menge für ein bekanntes Gewicht kennen. Nach den Versuchen von Laplace und Lavoisier schmilzt 1 Kilogramme Wasser von 75°, indem es sich bis zum Nullpunkte abkühlt, 1 Kilogr. Eis, und giebt 2 Kilogr. Wasser von 0°. Demnch ist also 1 Kilogr. Wasser, indem es sich um 1° abkühlt, im Stande $^1/_{75}$ oder 0,0133 Kilogr. Eis zu schmelzen. Multiplicirt man daher die Zahlen der vorhergehenden Tabelle mit dieser letztern, so erhält man die Eismengen, die eine Kilogramme dieser verschiedenen Körper wird schmelzen können, indem sie sich um 1° abkühlen.

Die zweite Tabelle zeigt, daß die Wärmecapacität der Körper nicht ganz constant seien und daß sie mit der Temperatur zunehmen.

138. Die Herren Dulong und Petit haben eine äußerst merkwürdige Beziehung zwischen den Wärmecapacitäten der einfachen Körper entdeckt. Sie besteht darin, daß, wenn man diese Capacitäten mit den relativen Atomgewichten multiplicirt, jedes dieser Producte eine 0,37524 stets gleiche Zahl ist. Man erhält daher die specifische Wärme aller einfachen Körper leicht, wenn man die Zahl 0,37524 durch ihr Atom- oder Mischungsgewicht dividirt.

Tabelle über die specifische Wärme der Gase, unter gleichem Druck; nach Delaroche und Bérard.

Namen der Gase.	Die specifische Wärme der Luft als Einheit genommen.		Die specifische Wärme des Wassers als Einheit genommen.
	Gleiche Volumina.	Gleiche Gewichte.	Gleiche Gewichte
Atmosphärische Luft.....	1,0000	1,0000	0,2669
Wasserstoffgas.....	0,9033	12,3401	3,2936
Kohlensäure	1,2583	0,8280	0,2210
Sauerstoffgas	0,9765	0,8848	0,2361
Stickstoffgas.....	1,0000	1,0318	0,2754
Stickstoffoxyd.....	1,3503	0,8878	0,2369
Gekohltes Wasserstoffgas.....	1,5530	1,5763	0,4207
Kohlenoxyd	1,0340	1,0805	0,2884
Wasserdämpfe	1,9600	3,1360	0,8470

Die in den beiden ersten Columnen befindlichen Zahlen bedürfen keiner weitern Erklärung. Die in der dritten begriffenen bezichnen die Erhöhung der Temperatur, die irgend eine Gewichtsmenge von Gas in einem gleichen Gewicht Wasser hervorbringen würde, wenn es sich um 1° C abkühlte. Dividirt man diese Zahleu mit 75, so erhält man das Gewicht des Eises, welche durch dieselbe Abkühlung schmelzen würde, und dividirt man sie mit 100, so erhält man das Gewicht Wasser von 0°, die zum Sieden gebracht werden könnte.

139. Aug. de la Rive und Marcet (Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, Bd. X. S. 363) gelangten zu entgegengesetzten Resultaten von den hier dargelegten. Es würde hier zu weit führen, wollten wir ihr Verfahren bei den angestellten Versuchen beschreiben, in welcher Hinsicht wir auf ihren wichtigen Aufsatz selbst verweisen; wir müssen uns begnügen, die aus dieser Arbeit gemachten Folgerungen anzuführen.

Nach diesen Physikern:

1) haben alle Gase, unter gleichem Druck und bei gleichen Voluminibus, dieselbe specifische Wärme;

2) nimmt die specifische Wärme, bei übrigens gleichen Umständen, mit der Pressung und gleich für alle Gase, nach einer mit der Pressung sehr wenig übereinstimmenden Progression und in einem weit geringern Verhältnisse, ab.

3) hat jedes Gas ein verschiedenes Leitungsvermögen.

140. Wärmestoff der Verdampfung. Wenn eine Flüssigkeit im Sieden ist, so haben die sich aus derselben entwickelnden Dämpfe dieselbe Temperatur als diese Flüssigkeit, und enthalten eine gewisse zu der Bildung ihres Dampf-Zustandes erforderliche Quantität latenter Wärme. Diese Wärmemengen sind bei verschiedenen Dämpfen verschieden.

Tabelle über die latente Wärme einiger Dämpfe, unter dem Druck von 0,76 Metr. und in der Temperatur der Siedhitze.

Namen der Flüssigkeiten.	Temperat. ihres Siedpunktes	Erhöhung der Temperatur, welche die Wärme der Verdampfung einer gleichen Wassermasse ertheilen könnte.
Wasser	100°	530° [1]), 540° [1]), 550° [2]), 567 [3])
Terpentinöl	157,4	76,8 [1])
Schwefeläther.....	35,5	90,8 [1])
Alkohol.....	78,3	207,7 [1])

Ein gegebenes Gewicht Wasser, welches sich bei 100° verdampft, absorbirt daher eine solche Wärmemenge, die fähig ist, dasselbe Gewicht Wasser zu einer Temperatur von 550° zu erheben, oder, mit andern Worten, die Wärme, die sich aus dem Flüssigwerden von einer Kilogramme Dämpfe entwickeln würde, könnte 5,5 Kilogr. Wasser von 0 zu 100° erhitzen. Vermischte man das von der Condensation der Dämpfe

---

[1]) Depretz. [2]) Gay-Lussac und Clement. [3]) Graf Rumford.

kommende Wasser mit dem erwärmten, so würde das ganze Gewicht des Wassers bei 100° offenbar 6,5 Kilogr. betragen.

141. Die vorhergehende Tabelle giebt die latente Wärme der Dämpfe in der Temperatur des Siedens an; allein da die Dämpfe in allen Temperaturen entstehen, so ist es wichtig zu wissen, ob die latente Wärme mit der Temperatur wechselt. Nach den neuern Experimenten von Clement scheint es, daß sie constant und ganz unabhängig sei, und daß folglich das gleiche Gewicht von Dämpfen zu ihrer Bildung stets dieselbe Wärmemenge erfordere, die Verdampfung geschehe in einer Temperatur, in welcher sie wolle. Diese merkwürdige Thatsache war in England schon lange bekannt und in einem von Wat durchgesehenen Werke Robison's bemerkt. Auch giebt die vorstehende Tabelle die zur Verdampfung nöthigen Wärmemengen unter allen möglichen Verhältnissen der Temperatur und des Drucks an.

142. Wärmestoff der Flüssigkeit. Eben so wie die flüssigen Körper, um sich in Dämpfe zu verwandeln, eine gewisse Wärmemenge absorbiren, machen auch die festen Körper, wenn sie flüssig werden, indem sie ihre Temperatur behalten, eine beträchtliche Wärmemenge latent; es ist das, was wir schon von dem Eise bemerkt haben. Die folgende Tabelle zeigt den Wärmestoff der Flüssigkeit mehrerer fester Körper.

Tabelle über den Flüssigkeits-Wärmestoff verschiedener Körper.

Namen der Körper.	Temperat. ihrer Schmelzung	Temperatur, welche die absorbirte Wärme einer gleichen Wassermenge ertheilen würde.
Wasser	100°	75°
Wallrath.....	56	82,222
Wachs.....	60	97,22
Zinn	219	227,777

§. 5. Erscheinungen bei der Veränderung des Zustandes der Körper.

143. **Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand.** Wenn man eine feste Masse der Einwirkung der Hitze aussetzt, so erhitzt sie sich bis zu der Temperatur des Schmelzpunktes; auf demselben bleibt die Temperatur so lange constant, bis die Schmelzung vollkommen ist, da alle die von dem Körper aufgenommene Wärme zum Flüssigwerden angewendet und in der gebildeten Flüssigkeit latent wird.

144. Die Temperatur, in welcher die Körper mittelst der Wärme schmelzen, ist sehr verschieden, wie man aus der folgenden Tabelle ersehen kann.

Schmelzhitze der hauptsächlichsten Körper.

Queckſilber	— 39° C
Eis	0°
Phosphor	40°
Schwefel	109°
Blei	280°
Zinn	210°
Wismuth	256°
Zink	370°
Antimon,	schwache Rothglühhitze.
Silber, Kupfer, Gold, Kobalt,	starke Rothglühhitze.
Eisen, Mangan, Nickel,	in der stärksten Schmiedehitze.
Molybdän, Uran, Wolfram, Chrom,	zeigt in der höchsten Hitze kaum Spuren von Schmelzung.

Titan,
Cerium,
Osmium,
Iridium,
Rhodium,
Platin,
Columbium,
} im Schmiedefeuer unschmelzbar, bloß vor dem Knallgas-Gebläse schmelzbar.

145. Ein fester Körper kann auch durch eine chemische Wirkung flüssig werden: alsdann entsteht eine mehr oder weniger starke Temperatur-Verminderung, da der Flüssigkeits-Wärmestoff, welcher von keinem Feuer erfolgt, von den angränzenden Körpern weggenommen wird.

146. Man begreift nun leicht, weshalb fast alle Salze, wenn sie im Wasser aufgelöst werden, Kälte hervorbringen, und warum ein Gemenge von Küchensalz und Eis, Substanzen, die durch ihre gemeinseitige Einwirkung die Eigenschaft, sich gegenseitig zu schmelzen, besitzen, eine so beträchtliche Kälte hervorbringen.

147. Rückkehr des flüssigen in den festen Zustand. Diese Erscheinung findet entweder durch eine Quelle der Kälte, oder durch eine chemische Wirkung statt. Im erstern Falle bleibt die Temperatur vom Anfange des Gefrierens bis zum gänzlichen Festwerden der Masse gleich. Im zweiten Falle entwickelt sich Wärme. Diese Erscheinungen sind den vorhergehenden analog und können von denselben deducirt werden.

148. Das Wasser zeigt bei seinem Gefrieren eine ganz eigenthümliche Erscheinung. Wenn man seine Temperatur nach und nach vermindert, so zieht es sich bis zu 4° über Null zusammen; unter dieser Temperatur dehnt sich die Flüssigkeit bis zu dem Gefrierpunkte aus, an welchem sie plötzlich eine große Volum-Vermehrung erhält. Diese Zunahme beträgt $\frac{1}{7}$ von der seines Volums auf dem Nullpunkte.

449. Reines, durch kurz vorher geschehenes Sieden, aller Luft beraubtes und anhaltend dem Gefrieren ausgesetztes Wasser kann bis zu 6° und selbst bis zu 12° unter Null, wenn

die Oberfläche mit einer dünnen Oelschicht bedeckt ist, gebracht werden, ohne zu frieren; allein das Vorhandensein des kleinsten Stückchen Eises, oder die geringste vibrirende Bewegung bringen augenblickliche Krystallisation und Steigen des Thermometers bis zum Nullpunkte hervor.

150. Uebergang des flüssigen in den Zustand der Dämpfe. Wir haben schon früher gesehen, daß die Flüssigkeiten, wenn sie der Einwirkung der Wärme ausgesetzt werden, Veranlassung zur Entstehung von Dämpfen geben, und wenn sie auch bloß der Luft in einem flachen Gefäß überlassen sind. Wir wollen nun die Erscheinungen, welche die Verdampfung in der Wärme begleiten, näher betrachten.

151. Wenn man eine, in einem offenen Gefäße eingeschlossene, Flüssigkeit der Einwirkung des Feuers aussetzt, so wird die Flüssigkeit warm, seine Oberfläche entwickelt immer mehr Dämpfe, deren Spannung mit der Temperatur wächst, und endlich, wenn die Elasticität dieser Dämpfe das Gewicht der Atmosphäre aufhebt, so bilden sie sich in dem Innern der Masse und erheben sich in Kügelchen, welche die Oberfläche zerreißen. Diese Erscheinung nennt man das Sieden oder Kochen. Wenn die Flüssigkeit die Temperatur des Siedpunktes erreicht hat, so bleibt dieser constant, bis daß die ganze Masse verdampft ist. Folglich ist die ganze Hitze des Feuers dazu angewendet, um Dämpfe zu bilden, in denen sie latent bleibt; denn ihre Temperatur ist dieselbe als die der Flüssigkeit. Diese Erscheinung ist derjenigen analog, welche die Schmelzung der festen Körper zeigt.

152. Da das Sieden der flüssigen Körper erst dann stattfindet, wenn die Elasticität der Dämpfe dem Druck der Atmosphäre gleich ist, so folgt daraus, daß der Siedpunkt den Veränderungen des Barometers folgen muß; da aber diese Veränderungen an einem und demselben Orte sehr gering sind, so bringen sie keine bemerkbare Abänderungen des Siedpunktes hervor. Nur auf sehr bedeutenden Höhen, oder indem man die Flüssigkeit in ein von allen Seiten verschlossenes Gefäß bringt, in welchem die Luft bedeutend verdünnt oder

verdichtet ist, kann man die Temperatur des Siedpunktes bedeutend erniedrigen oder erhöhen.

153. Demnach würde in einem vollkommen luftleeren Raume das Wasser, selbst unter dem Nullpunkte, zu sieden anfangen; jedoch kann man in der Wirklichkeit diese Thatsache nicht controlliren, denn die Dämpfe, welche das Wasser in dem leeren Raume entwickelt, bilden sogleich eine Atmosphäre, welche das Sieden aufhält, wenn man aber diese Dämpfe fortwährend mittelst einer guten Luftpumpe herausschafft, so gelangt man leicht dahin, daß das Wasser in einer sehr geringen Temperatur siedet. Eben so kann man auch Aether und Alkohol in der gewöhnlichen Temperatur zum Sieden bringen.

154. Setzt man dagegen eine in einem verschlossenen Gefäße befindliche Flüssigkeit der Einwirkung der Wärme aus, so vermehren die sich fortwährend bildenden Dämpfe die Elasticität der innern Atmosphäre, welche auf das Sieden drückt und es fortwährend bis zu einer gewissen Gränze aufhält, von wo an die ganze Masse sich in sehr dichte Dämpfe verwandelt, welche den ganzen Raum des Gefäßes einnehmen.

155. Die Elasticität der Dämpfe, die sich in verschlossenen Gefäßen bilden, nimmt, je mehr die Temperatur steigt, mit großer Schnelligkeit zu (siehe die Tabelle bei 101), und da diese Zunahme ins Unendliche geht, so folgt daraus, daß die verschlossenen Gefäße, in denen man die Flüssigkeiten der Einwirkung der Hitze aussetzt, sehr stark und fähig sein müssen, einem großen Drucke zu widerstehen. Der Widerstand sei aber welcher er wolle, so würde doch, wenn die Temperatur, zu welcher die Flüssigkeit erhoben werden kann, durch nichts begränzt würde, eine Zeit eintreten, zu welcher die Expansivkraft der Dämpfe den Widerstand des Gefäßes überwinden, es mit einer heftigen Explosion zerbrechen und die Trümmer weit umherschleudern würde.

156. Um die Temperatur, welche die Flüssigkeit annehmen muß, zu beschränken, giebt es mehrere Mittel. Das einfachste besteht in einem Ventile, welches eine obere Oeffnung

des Gefäßes verschließt, und das, mittelst einer Feder oder eines Gewichts, von Außen nach Innen drückt, und dessen Kraft gleich ist der, welche die Dämpfe in umgekehrter Richtung in der Temperatur ausüben, die man nicht überschreiten will. Außer diesen sogenannten Sicherheitsventilen hat man neuerlich auch kleine Platten von einem in der höchsten Temperatur, welche die Dämpfe erreichen sollen, schmelzenden Metalle angewendet, die Oeffnungen verschließen, welche an der obern oder untern Seite des Kessels angebracht worden sind. Wir kommen später und mit allen nöthigen Einzelnheiten auf diese verschiedenen Sicherheits-Apparate zurück, deren Construction von so großer Wichtigkeit ist.

157. Wir haben eben bemerkt, daß, wenn man eine in einem verschlossenen Gefäße befindliche Flüssigkeit erwärme, die sich bildende Atmosphäre von Dämpfen das Sieden bis zu einer gewissen Temperatur, in welcher sich die ganze Masse von Flüssigkeit in Dämpfe verwandele, aufhielte. Diese merkwürdige Thatsache ist von Cagniard de la Tour, welcher eine Reihe sehr sorgfältiger Versuche angestellt hat, bestätigt worden. Er fand: 1) daß der Aether sich in verschlossenen bei 150°, in einem geringern Raume, als das Doppelte seines Volums beträgt, verdampfe und daß er einen Druck von 70 Atmosphären hervorbringe; 2) daß der Schwefelkohlenstoff sich bei 210° verdampfe und einen Druck von 37 Atmosphären hervorbringe. Das Alkohol und das Wasser zeigen dieselben Erscheinungen; die Temperatur der Veränderung des Zustandes hat nicht beobachtet werden können, allein es hat sich gezeigt, daß der in einem dreimal größern Raume verdampfende Alkohol, eine Pressung von 119 Atmosphären hervorbringe. Das Wasser hat eine solche Pressung gezeigt, daß es stets die Röhren, in denen die Versuche gemacht wurden, zerbrach.

158. Es sind nun noch die Erscheinungen zu untersuchen übrig, welche die Verdampfung der Flüssigkeiten begleiten, die nicht der Wirkung des Feuers ausgesetzt sind, und die man gewöhnlich mit dem Namen der Verdunstung bezeichnet. Es

ist klar, daß die Bildung der Dämpfe in dem Falle, den wir betrachten, die Temperatur der flüssigen Masse vermindern wird, denn da die Dünste eine große Menge latenten Wärmestoff enthalten, so mußte derselbe von der Flüssigkeit und von den umgebenden Körpern entnommen werden. Wenn die Luft durch ihre Berührung und die umgebenden Körper durch ihre Strahlung der Flüssigkeit nicht fortwährend Wärme mittheilten, so würde ihre Abkühlung ins Unendliche gehen; allein die Temperatur erreicht einen festen Punkt, sobald der von der Verdunstung herrührende Wärmeverlust durch die Strahlung oder durch die unmittelbare Verbindung mit den äußern Körpern ausgeglichen ist. Diese theoretischen Resultate werden durch die Erfahrung bestätigt.

159. Wenn man sehr flüchtige Körper, wie Alkohol und Aether, in die Hand gießt, so ist ihre Verdunstung von einem sehr wahrnehmbaren Gefühle der Kälte begleitet. Umgiebt man die Kugel eines Thermometers mit einem kleinen Schwamm oder mit einem Stückchen Zündschwamm, die in eine sehr flüchtige Flüssigkeit getaucht sind, so fällt das Thermometer um viele Grade, und die Abkühlung würde noch weit bedeutender sein, wenn das Instrument unter den Recipienten einer Luftpumpe gestellt würde, wodurch man die Dünste fortwährend absorbirte, weil sich in derselben Zeit eine weit größere Menge bilden würden. Man erhält dieselbe Wirkung, wenn man das Thermometer in Zugluft bringt, oder wenn man es an das Ende einer Schleuder befestigt und diese sehr rasch umdreht. Das in Spanien und Egypten gebräuchliche Verfahren, zur Erfrischung des Wassers, ist auf die durch freiwillige Verdunstung entstehende Kälte gegründet. Man gebraucht poröse Gefäße, durch welche das Wasser langsam hindurchsickert und an der äußern Seite eine große Oberfläche zeigt, die, auf Kosten der Temperatur des Gefäßes und des darin befindlichen Wassers, seine Verdunstung erleichtert. Nach demselben Principe gelangt man auch zur Abkühlung der Flüssigkeiten, indem man sie in metallene Gefäße thut, die mit feuchtem Leinen bedeckt sind und die man der Zugluft aussetzt.

Wir beendigen die Aufzählung der Thatsachen, welche die fragliche Erscheinung unterstützen, durch die Darstellung des schönen Experimentes von Leslie, in welchem dieser berühmte Physiker das Wasser durch die von der freiwilligen Verdunstung herrührenden Abkühlung zum Gefrieren brachte.

Der Apparat Leslie's besteht in einer weiten Schale von Glas oder Porzelan, die mit concentrirter Schwefelsäure angefüllt, und worüber eine flache, dünne, metallene Schale, auf drei Füßen auf den Seitenwänden der gläsernen stehend, befindlich ist. Der Apparat wird unter den Recipienten einer guten Luftpumpe gestellt, in welchen man eine Luftleere hervorbringt. Die Schwefelsäure, die eine große Affinität zum Wasser hat, nimmt die Dünste auf, sobald sie sich bilden. Die Verdunstung geht dann sehr rasch vorwärts, und in einer sehr kurzen Zeit ist die Temperatur des Wassers gering genug, daß es gefriert.

160. Die Verdunstung einer Flüssigkeit in der Luft, durch die bloße Spannung derselben, hängt von ihrer Temperatur und von dem hygrometrischen Zustande der Luft ab. Ist die Luft vollkommen trocken, so ist die Verdunstung die größtmögliche in dieser Temperatur; ist sie dagegen mit Feuchtigkeit gesättigt, so ist sie sehr gering. Im Allgemeinen ist die Verdunstung proportional der Differenz der Spannung der Flüssigkeit und der der umgebenden Luft, und in einer gegebenen Zeit ist die Menge des in Dünste verwandelten Wassers um so viel größer, je stärker die Luft in Bewegung ist, da in ruhiger Luft die Verbreitung der Dünste langsam vor sich geht. Man wird auch leicht einsehen, daß bei gleichen Umständen die Menge des in Dünste verwandelten Wassers im Verhältniß zu der freien Oberfläche der Flüssigkeit steht.

161. Rückkehr der Dämpfe in den flüssigen Zustand. Wenn ein Raum mit Dünsten gesättigt ist, so ist die geringste Verminderung der Temperatur, oder die geringste Vermehrung des Druckes hinreichend, um einen Theil davon in den flüssigen Zustand übergehen zu lassen. Ist aber der Raum nicht mit Dämpfen gesättigt, so können dieselben eine

mehr oder minder große Verminderung der Temperatur und eine mehr oder minder große Vermehrung des Drucks ertragen, ohne die geringste Verwandlung in Flüssigkeit zu erleiden, und dies zwar so lange, bis diese Veränderungen, welche die Dichtigkeit der Dämpfe immer mehr zu vermehren streben, sie bis zur Sättigung gebracht haben. Bei diesen Veränderungen folgt die Elasticität der Dämpfe dem Marioteschen und dem Gay-Lussacschen Gesetze.

Ein von Dämpfen erfüllter Raum, der sogleich anfänglich gesättigt worden ist, kann aufhören es zu sein; 1) durch Steigen der Temperatur; 2) durch Verminderung des Druckes; 3) durch beide Umstände. So würde z. B. ein mit Wasserdämpfen von 100° unter dem Druck von 0,76 Metr. gesättigter Raum es aufhören zu sein, wenn die Temperatur sich auf 200° erhebt, oder wenn der Druck sich auf 0,50 Metr. vermindert, oder wenn beide Wirkungen zugleich stattfinden. Es folgt hieraus, daß wenn Flüssigkeiten existirten, deren Siedpunkt unter einem Drucke von 0,76 Metr. in einer sehr niedrigen Temperatur, z. B. 100° unter dem Nullpunkte, stattfände, oder welche in der gewöhnlichen Temperatur eine Spannung hatten, welche die der Atmosphäre einige hundert Male überträfe, diese Dämpfe unter dem gewöhnlichen Drucke und in den natürlichen Gränzen der Temperatur sehr verdünnt sein würden, und durch eine sehr große Verminderung der Temperatur, oder durch einen ungeheuren Druck in den flüssigen Zustand zurückgebracht werden könnten. Es scheint, daß dies der Fall mit alle den Gasen sei, die man mit dem Namen der permanenten bezeichnet, denn eine große Anzahl von ihnen sind durch eine große Kälte oder durch einen großen Druck flüssig gemacht, und wenn dies mit einigen noch nicht geschehen ist, so hat dies darin seinen Grund, daß die Mittel zur Zusammenpressung und zur Erkaltung nicht mächtig genug waren.

162. Nach dem Vorhergehenden geschieht die Verdichtung der Dämpfe durch eine Quelle der Kälte oder durch den Druck. Durch eine Quelle der Kälte entwickeln sich Erscheinungen,

die denen, welche wir bei der Bildung der Dämpfe mittelst der Wärme erkannt haben, gerade zu entgegen sind; durch den Druck wird alle latente Wärme fühlbar.

Drittes Kapitel.

Von der Messung der Temperatur.

163. Man schätzt die Temperatur eines Körpers gewöhnlich mittelst Ausdehnung, die er auf einen mit ihm in Berührung gebrachten Körper hervorbringt. In einigen besondern Umständen wendet man andere Mittel an, die wir später untersuchen wollen.

164. Wir wollen annehmen, daß wir eine cylindrische, homogene Stange hätten, die durch nach und nach hinzugefügte gleiche Wärmemengen sich nach und nach um gleiche Weiten ausdehnt und deren Temperatur zu gleicher Zeit, auf eine gleichförmige Weise, zunimmt. Die Temperaturen würden alsdann der Verlängerung der Stange proportional sein. Steckt man nun dies Instrument nach und nach in verschiedene Massen und mißt seine Verlängerungen genau, so wird das Verhältniß seiner Temperatur gleich dem der Verlängerung der Stange sein. Man muß jedoch noch bemerken, daß das Instrument nur die Temperatur in dem Augenblicke angeben würde, in welchem das Gleichgewicht hergestellt worden, und daß die Verschiedenheit zwischen dieser und der anfänglichen Temperatur um so viel größer sein würde, als die Masse des Körpers kleiner ist, und daß die Capacität der Materie, aus welcher die Stange besteht, im Verhältnisse zu dem Körper größer sein wird. Sind aber die Massen, im Verhältniß zu der des Instruments, sehr groß, so heben sich die Differenzen fast ganz.

165. Um aber ein solches Instrument, wie wir beschrieben haben, zu erhalten, müßte man 1) das Mittel kennen, in einem und demselben Körper nach und nach gleiche Wärme-

mengen übergehen zu lassen; 2) einen Körper finden, der durch diese gleichförmige Wärmezunahme sich auch gleichförmig ausdehnt. Alle diese Bedingungen erfordern nothwendiger Weise ein Instrument, um die Temperaturen zu messen, und dies suchen wir eben. Directe und scharfe Mittel, um dies zu bewerkstelligen, besitzen wir nicht.

166. Da man jedoch gefunden hat, daß die Gase und die nicht gesättigten Dämpfe sich unter gleichen Umständen gleich stark ausdehnen, so hat man es für wahrscheinlich erachtet, daß diese Gleichheit daher komme, daß die Ausdehnung gleichförmig und die Capacität constant sei; und da das Quecksilber, so wie die festen Körper, dem Anscheine nach, demselben Gesetz der Ausdehnung folgen, so ist dieselbe Hypothese auf sie anwendbar. Demnach wendet man also diese verschiedenen Substanzen bei der Construction der Thermometer an, von denen wir nun die verschiedenen in Gebrauch befindlichen Arten beschreiben wollen.

167. Quecksilber-Thermometer. Man nehme ein gläsernes Haarröhrchen, an dessen einem Ende eine Kugel von derselben Materie befindlich und die bis auf eine gewisse Höhe mit Queckfilber angefüllt ist, so wird die Queckfilbersäule durch eine Erhöhung der Temperatur steigen und durch eine Verringerung derselben fallen. Diese Veränderungen werden aber unter gleichen Umständen um so größer sein, als der innere Durchmesser der Röhre, im Verhältniß zu dem Volum der Kugel, gering ist.

168. Diese anscheinenden Ausdehnungen des Queckfilbers sind das Resultat seiner wirklichen Ausdehnung, vermindert um die des Gases. Allein da diese letztere im Verhältniß zu der erstern sehr gering, und da sie noch weit gleichförmiger ist, so sind beide Arten der Ausdehnung des Queckfilbers wenig verschieden und als gleich anzusehen.

169. Damit diese Instrumente aber unter einander vergleichbar sind, so muß die Graduirung derselben nothwendig von einer festen Temperatur ausgehen, und die Grade selbst müssen Brüche von dem Volum des Metalles, von diesem

Punkte aus, sein. Oder auch, wenn zwei feste Temperaturen vorhanden sind, die man leicht wieder hervorbringen könnte, so ist es hinreichend, daß die Distanz der Endpunkte der diesen Gränzen correspondirenden Queckſilberſäulen in dieſelbe Anzahl gleicher Theile getheilt sei. Es ist klar, daß alle auf diese Weise construirten Instrumente unter gleichen Umständen genau dieſelben Angaben liefern. Man wendet stets dies Mittel an, und die beiden festen Punkte der Temperatur sind die des schmelzenden Eises und des siedenden Wassers.

170. Die Temperatur des schmelzenden Eises ist unter allen Umständen stets dieſelbe. Die des siedenden Wassers wechselt mit dem Druck der Luft, der Beschaffenheit und Menge der in dem Wasser eingeschlossenen fremdartigen Substanzen und mit der Beschaffenheit der Gase; allein unter gleichem atmosphärischen Druck, mit destillirtem Wasser und in metallenen Gefäßen, ist dieſe Temperatur vollkommen constant. Wir können nun die Einzelnheiten der Construction der Thermometer beschreiben.

171. Zuvörderst verschafft man sich ein Haarröhrchen, dessen Durchmesser merklich überall gleich weit ist. Die Gleichheit des Calibers einer Röhre erkennt man, wenn man etwas Queckſilber hineinbringt, welches auf der ganzen Länge der Röhre gleich lang bleiben muß. Darauf bläst man mit Hülfe einer Glasbläſer-Lampe eine Kugel an dem einen Ende an die Röhre, oder man schmilzt ein Stück von einer unten geschlossenen, viel weitern Röhre daran. Man muß darauf die Kugel und die Röhre mit destillirtem Queckſilber anfüllen. Zu dem Ende setzt man an das obere Ende der Röhre einen kleinen gläsernen Trichter, in welchen man eine gewisse Quantität Queckſilber thut. Da die Röhre sehr eng ist, so widersetzt sich die darin eingeschlossene Luft dem Herabfallen des Metalles; erhitzt man aber die Kugel, so verdünnt sich die Luft, ein Theil derſelben entweicht durch das Queckſilber, und wenn die Röhre wieder erkaltet ist, so fällt ein Theil des Metalles in die Kugel hinab und nimmt den Platz der entwichenen Luft ein. Da die Kugel nun nur zum Theil mit Queckſilber an-

gefüllt ist, so muß man das Instrument von Neuem einer starken Hitze aussetzen, um alle Luft und alle von der Feuchtigkeit der Röhre herrührende Wasserdämpfe zu vertreiben. Ein einige Minuten langes Sieden des Queckſilbers ist fast immer hinreichend. Man wird leicht einsehen, daß es bei dieser letztern Operation die Queckſilberdämpfe sind, welche die Luft und die Wasserdämpfe vertrieben haben. Nach einem hinlänglich langen Sieden und nach dem Erkalten sind die Kugel und die Röhre genau mit Queckſilber angefüllt, ohne daß irgend Luftblasen oder Wasserdämpfe dazwischen befindlich seien.

172. Man sieht alsdann dahin, daß die hineingebrachte Queckſilbermenge nicht zu groß ist, und vertreibt, wenn dies der Fall ist, einen Theil desſelben durch die Hitze. Es ist klar, daß in den höchsten Temperaturen, die das Instrument angeben muß, das Queckſilber nicht über die Röhre hinausgehen, und daß es bei den niedrigsten nicht in die Kugel zurückgehen darf.

173. Darauf kann man die Röhre an der Lampe verschließen, allein man muß zuvörderst die über dem Queckſilber befindliche Luft vertreiben; denn wenn sie darin bliebe, so könnte sie durch Bewegung leicht zwischen das Queckſilber kommen. Es geschieht leicht, wenn man die Röhre in der Hitze oben etwas auszieht, das Queckſilber bis oben hinsteigen läßt, und sie dann mittelst der Löthrohr-Flamme plötzlich zuschmilzt.

174. Man muß darauf an dem Instrumente die dem Schmelzen des Eises und dem Sieden des Wassers correspondirenden Punkte bemerken. Die Bestimmung des erstern erfordert weiter keine Vorsicht, als daß man das ganze Instrument in schmelzendes Eis oder in schmelzenden Schnee steckt. Die des Siedpunktes erfordert jedoch, wie wir schon gesehen haben, mehrere unerläßliche Vorsichtsmaaßregeln, welche folgende sind: 1) destillirtes Wasser zu gebrauchen; 2) dieses in einem metallenen Gefäße sieden zu lassen; 3) den ganzen Apparat in das Wasser oder wenigstens in die Dämpfe zu stecken;

4) die Operation bei einem Drucke von 0,76 Metr. vorzunehmen. Man wendet destillirtes Wasser an, weil das Wasser, welches Salze enthält, erst in einer höhern Temperatur siedet, als das reine Wasser. Das Gefäß muß von Metall sein, denn nach den Versuchen Gay-Lussacs findet in gläsernen Gefäßen der Siedpunkt erst einer weit höhern Temperatur statt. Die Nothwendigkeit, das ganze Instrument der Hitze des siedenden Wassers auszusetzen, ist klar. Man könnte diese Bedingung erfüllen, indem man es ganz in siedendes Wasser steckte, allein die große Wassermasse, die man alsdann anwenden müßte, könnte Irrthümer veranlassen, da das Sieden, um sich in den untern Schichten zu entwickeln, Veranlassung zur Entstehung von Dämpfen geben muß, deren Elasticität hinlänglich ist, um nicht allein das Gewicht der Atmosphäre, sondern auch das der obern Schichten aufzuheben und die Temperatur alsdann weit höher sein würde. Um diesen Nachtheil zu vermeiden, wendet man den Apparat Fig. 38 an. Er besteht aus einer Büchse von Weiß- oder Kupferblech, auf welcher ein Cylinder befindlich ist, an dessen obern Theile zwei kleine Röhren a und b sitzen. Man gießt soviel Wasser in die Büchse, daß es einige Centimeter hoch in derselben steht, und hängt mittelst eines Korkes, durch den die Röhre geht, und welcher den Cylinder B C verschließt, das Instrument in den Apparat, so daß die Kugel nur in dem Wasser befindlich ist. Man erhitzt die Büchse, und einige Augenblicke, nachdem das darin befindliche Wasser ins Kochen gekommen ist, hat der ganze Apparat eine gleichförmige Temperatur angenommen, da die Dämpfe stets dieselbe Temperatur haben, als die Flüssigkeit, welche sie hervorgebracht hat, und weil, sobald das Gefäß erhitzt ist, fast alle Dämpfe aus den Röhren a und b entweichen. Die letzte Bedingung bei Bestimmung des Siedpunktes endlich ist die, dieselbe bei einem Druck von 0,76 Metr. vorzunehmen, und diese ist eben so unerläßlich als die andern, da die Temperatur des Siedens von dem Drucke abhängt. Da man es aber nicht immer in seiner Gewalt hat, die Operation bei diesem Luftdruck vorzunehmen, so ist es

unerläßlich, den Irrthum zu kennen, in den man verfällt, wenn man bei einem andern Drucke arbeitet. Ein Bruder des berühmten, nun verblichenen, englischen Chemikers, Wollaston, fand in Folge einer großen Menge von Experimenten, daß eine Verminderung des Drucks um 0,027 Metr. den Siedpunkt um 1° erniedrige. Hiernach ist es leicht, die fragliche Correction zu machen [1]).

175. Nachdem man nun die beiden festen Punkte der Thermometer-Skala bestimmt hat, braucht man nur den Raum zwischen denselben in eine Anzahl gleicher Theile, die man Grade nennt, zu theilen. Ist die Röhre gehörig cylindrisch, so sind diese Theile gleich lang.

176. Die Anzahl der Grade zwischen dem Gefrier- und dem Siedpunkte des Wassers beträgt bei der hunderttheiligen oder Celsiusschen Skala 100°, bei der Reaumurschen 80° und bei der Fahrenheitschen, deren man sich besonders in England bedient, 180°. Bei den beiden erstern ist der Gefrierpunkt mit 0° bezeichnet, bei der Fahrenheitschen mit 32°, indem bei diesem letztern der Nullpunkt mittelst eines Kälte erzeugenden Gemenges bestimmt worden. Bei allen ist die Skala zwischen diesem und dem Siedepunkte in gleiche Theile getheilt, und bei den beiden erstern, über den Nullpunkt hinaus, auf gleiche Weise.

177. Wenn man die Angaben eines Thermometers anführt, so muß man hinzufügen, ob er nach Celsius, Reaumur oder Fahrenheit getheilt ist. Es ist übrigens sehr leicht, die correspondirenden Angaben dieser drei Instrumente zu finden. Um z. B. die Celsiusschen Grade in Reaumursche zu verwandeln, ist es klar, daß man die erstern mit $^{80}/_{100}$ oder mit $^{4}/_{5}$, und um sie in Fahrenheitsche zu verwandeln, mit $^{180}/_{100}$ oder mit $^{9}/_{5}$ multipliciren und 32 hinzufügen müsse. Und umgekehrt, um die Reaumurschen in Fahrenheitsche Grade zu verwandeln, muß man erstere mit $^{5}/_{4}$ multipliciren, und um die

---

[1]) Bekanntlich kann man mittelst der Bestimmung des Siedpunktes ungefähre Höhenmessungen anstellen. Auf der Spitze des Brockens siedet das Wassers bei 78° der Reaumurschen Skala. H.

Grade der Fahrenheitschen Skala in die der Celsiusschen zu verwandeln, muß man 32 davon abzuziehen und den Rest mit $^5/_9$ multipliciren.

178. Die Queckſilber=Thermometer ſind nur für diejenigen Temperaturen genau, welche von dem Sied= und dem Gefrierpunkte dieſes Metalles entfernt ſind, weil in der Nähe dieſer Temperaturen ſeine Ausdehnung regelmäßig zu ſein aufhört. Ueber 200° und unter 20°, darf man daher auf ihre Angaben nicht mehr rechnen.

179. Alkohol=Thermometer. Zuweilen wendet man Thermometer an, in denen das Queckſilber durch mittelſt Orſeille roth gefärbtes Alkohol erſetzt worden iſt; da aber die Ausdehnungen des Alkohols nicht regelmäßig ſind, ſo haben dieſe Inſtrumente nur geringe Genauigkeit. Jedoch ſind ſie bei niedrigen Temperaturen, bei denen die Queckſilber=Thermometer nicht angewendet werden können, ſehr nützlich. Man graduirt ſie auf dieſelbe Weiſe. Obgleich der Alkohol unter gewöhnlichem Drucke bei 78° ſiedet, ſo kann er doch in einem verſchloſſenen Thermometer, ohne Veränderung ſeines Zuſtandes, einer Temperatur ausgeſetzt werden, die 100° überſteigt, da ſeine Dämpfe in der Röhre eine Atmoſphäre bilden, welche ſeinen Siedpunkt weit über dieſe Temperatur zurückhält.

180. Luft=Thermometer. Dieſe beſtehen aus einer ſehr langen, an dem einen Ende offenen und an dem andern in eine Kugel auslaufenden Haarröhre. Mittelſt des oben (69) angegebenen Verfahrens, füllt man die Kugel und die Röhre mit trockner Luft an, bringt etwas Queckſilber in die Röhre, um die äußere von der innern Luft zu trennen, und graduirt die Skala wie gewöhnlich. Damit die Angaben unter einander vergleichbar ſeien, muß das Inſtrument in derſelben Lage bleiben, damit das Gewicht des Queckſilber=Index ſtets auf dieſelbe Weiſe auf die innere Luft wirke, denn der Druck, den es auf die innere Luft ausübt, iſt gleich ſeinem nach der Axe der Röhre zertheiltem Gewicht. Der Inhalt darf die der Röhre nicht mehr als dreimal überſteigen, ſonſt würde der Queckſilber=Index bei 100° aus der Röhre

hinausgehen, oder sich bei 0° in die Kugel ziehen. Diese Instrumente haben das sehr Nachtheilige, dem Einflusse des Luftdrucks unterworfen zu sein, und daher mit den Barometerhöhen zu wechseln. Man benutzt sie nur bei sehr feinen Untersuchungen, da sie sehr empfindlich sind, und zum Messen sehr niedriger Temperaturen.

181. Metall-Thermometer. Wenn zwei geradlinigte Metallplatten, von ungleicher Ausdehnung, auf zwei Seiten unveränderlich mit einander verbunden sind, so werden sie durch eine Veränderung der Temperatur gekrümmt, so daß die Platte, welche sich am wenigsten ausdehnt, wenn die Temperatur steigt, auf der concaven Seite der Krümmung ist, und auf der convexen, wenn sie fällt. Wir haben (54) die auf diesem Principe beruhende Construction eines Compensationspenduls angegeben. Bréguet hat davon eine glückliche Anwendung auf die Construction eines sehr empfindlichen Thermometers gemacht. Dieser Apparat besteht aus einer Schraube MN (Fig. 39), die aus einem Platin-, aus einem Gold- und aus einem Silberblättchen, sämmtlich durch einen starken Druck verbunden, zusammengesetzt ist. Das eine Ende ist an einem messingenen Arm P Q befestigt, und an das andere Ende ist die Nadel a b angebracht. Die Ungleichheit der Ausdehnung des Platins und des Silbers bringt eine verschiedene Drehung der Schraube und daher auch der Nadel a b hervor. Da die Erfahrung gezeigt hat, daß gleiche Veränderungen der Temperatur gleiche Bogen geben, so kann die Graduation sehr leicht gemacht werden, indem man mittelst eines guten Thermometers zwei Punkte bestimmt, den Zwischenraum in eine, durch die Differenz der beiden Temperaturen bestimmte, Anzahl gleicher Theile theilt und diese Theile, auch über den Bogen weg, auf der ganzen Peripherie herumträgt. Wir haben gesagt, daß die Schraube aus drei Metallen bestehe; nun könnte man nur zwei, das Platin und das Silber, anwenden; allein da das zwischen beiden befindliche Gold eine mittlere Ausdehnung hat, so verhindert es, daß die beiden erstern sich durch ihre zu ungleiche Ausdehnung zerreißen. Dieses Ther-

Bayerische Staatsbibliothek München

mometer ist in Hinsicht der Zeit bei weitem empfindlicher als alle übrigen Thermometer.

182. Borda bediente sich zu seinen großen geodätischen Arbeiten, zur Messung eines Meridian-Bogens in Frankreich, eines weit einfachern Metall-Thermometers. Zu den Längenmessungen gebrauchte er einen großen, zwölf Fuß langen Platin-Stab, dessen Temperatur er bei jeder Operation genau kennen mußte. Deshalb hatte Borda auf diesen Stab einen andern, minder langen Stab von Kupfer gelegt, und beide an dem einen Ende fest verbunden (Fig. 40). Das andere Ende des Kupferstabes correspondirte Punkten an dem Platinstabe, die nach der Temperatur verschieden waren. Um nach der Lage des Endes der Kupferstange die gewöhnliche Temperatur beider Stangen zu bestimmen, brachte Borda den Apparat in siedendes Wasser, und bemerkte auf dem Platinstabe das Ende des Kupferstabes. Er wiederholte diese Operation, nachdem er den Apparat in schmelzendes Eis gebracht hatte, und theilte den Zwischenraum zwischen beiden Punkten in hundert gleiche Theile. Es ist demnach klar, daß das Ende der Kupferplatte auf der Skala die gewöhnliche Temperatur angiebt. Da aber die Eintheilung sehr fein war, so beobachtete man sie mittelst einer auf der Kupferplatte befestigten Loupe.

183. Alle hier erwähnten Instrumente können nur zur Bestimmung wenig hoher Temperaturen angewendet werden. Diejenigen, welche man zur Schätzung hoher Temperaturen gebraucht, werden Pyrometer genannt. Von diesen wird ein einziges, das nach seinem Erfinder sogenannte Wedgwoodsche, in den Künsten und Gewerben benutzt. Es ist auf das Schwinden des Thons in der Hitze gegründet. Dies Schwinden oder Zusammenziehen nimmt mit der Temperatur, jedoch nach einem unbekannten Gesetze, zu. Es kommt, bis zu einer gewissen Gränze, von dem Wasser her, welches sich verflüchtigt, darüber hinaus scheint es aber von einem festern Aneinanderdrängen der Theilchen herzurühren. Der Apparat besteht aus einer Metallplatte ABCD, (Fig. 41), auf welcher drei an-

Bayerische Staatsbibliothek München

dere Platten, von demselben Metalle so befestigt sind, daß sie eine geneigte Lage zu einander haben, und daß der Zwischenraum der Platten NP gleich demjenigen ist, welcher die Verlängerung der Platten MN bilden würde. Die eine von den Platten ist in 240 gleiche Theile getheilt, die man Grade nennt. Kleine abgestumpfte Kegel von einem Thon abcd, die in schwacher Rothglühhitze gebrannt sind, lassen sich bis zu einer mit 0° bezeichneten Linie zwischen die beiden Platten M und N einsenken. Will man nun die Temperatur eines Ofens kennen lernen, so legt man einen von den kleinen Thonkegeln in einen verschlossenen Tiegel, setzt denselben in den Ofen, und nimmt ihn, sobald er die Temperatur desselben angenommen hat, wieder heraus. Man läßt den Thonkegel erkalten und schiebt ihn zwischen die Stäbe, so weit dies gehen will. Der Grad der Skala, zu welchem er gelangt, giebt die Temperatur an, die er in dem Ofen angenommen hat. Damit die Angaben eines Instruments unter einander vergleichbar seien, müssen die Thonkegel ganz gleich und von derselben Substanz gemacht sein; und selbst in diesem Falle kann das Instrument keine Verhältnisse angeben, denn man weiß nicht, ob das Schwinden der Temperatur proportional, und es ist sehr wahrscheinlich, daß dies nicht der Fall sei. Man hat gefunden, daß der Nullpunkt dieses Instruments 580,55° des Celsius'schen Thermometers, und daß jeder Grad 72 Graden desselben correspondire; jedoch darf man nicht mit Sicherheit auf diese Angaben rechnen.

184. Thermometer der Maxima und Minima. Es ist oft wichtig, die Temperatur solcher Orte zu kennen, an die man nicht gelangen kann, um Beobachtungen zu machen, wie z. B. des Meergrundes, des Grundes von Seen u. s. w., oder die äußersten Temperaturen zu Zeiten, an denen sie nicht beobachtet werden konnten. Dazu muß man ein Instrument haben, welches die Spuren des Maximums und Minimums der Höhe der Säule von Flüssigkeit beibehält. Das einfachste Instrument zu diesem Zwecke besteht aus zwei Thermometern, dessen Röhren horizontal und in umgekehrter Rich-

tung über einander liegen, und auf einer Platte, Fig. 42, befestigt sind. Das Thermometer A ist mit weißem Alkohol angefüllt, und dazu bestimmt, das Minimum der Temperatur anzugeben. Es enthält daher einen kleinen Cylinder von Email a, dessen Durchmesser etwas kleiner, als der der Röhre ist. Dieser Index, der durch die geneigte Stellung des Instruments dahin gebracht wird, bis er die freie Oberfläche der Flüssigkeit berührt, bleibt in seiner Lage, wenn sich die Flüssigkeit ausdehnt. Zieht sich dieser znrück, so wird er mit hinweggeführt, so daß das von der Kugel am weitesten entfernte Ende des Cylinders das Minimum der Temperatur, zu welchem das Instrument gelangt ist, angiebt. Das untere Thermometer B ist mit Queckfilber angefüllt, und enthält einen kleinen Stahlcylinder b, dessen Durchmesser etwas geringer, als der der Röhre ist. Da der Stahl von dem Queckfilber nicht benetzt wird, so stößt ihn die sich ausdehnende Säule vorwärts und läßt ihn zurück, wenn sie ihre größte Ausdehnung erreicht hat. Das der Kugel am nächsten befindliche Ende des Index giebt daher das Maximum der Temperatur an, zu welcher das Instrument sich erhoben hat. Nun ist es klar, daß die beiden Thermometer, wenn sie, wie in Fig. 42, stehen, und von der Linken zur Rechten der Platte geneigt werden, die beiden Indices an ihre gehörigen Stellen gelangen.

185. Das Thermometer (Fig. 43) welches ebenfalls dazu bestimmt ist, die Angaben der äußersten Temperaturen zu erhalten, rührt von Six her, und ist von Bellani verbessert. Das Reservoir R, so wie die Röhre bis b, sind mit Alkohol angefüllt, von b bis h ist Queckfilber in der Röhre, und das übrige Ende derselben, so wie ein Theil des Reservoirs r, enthalten wieder Alkohol. An beiden Enden der Queckfilbersäule sind zwei Indices von Glas befindlich, die hohl sind, einen kleinen eisernen Cylinder enthalten und welche von einem Ringe von Haaren umgeben sind, welcher gegen die Röhre drückt und die Cylinder in ihrer Lage erhält, wenn sie von dem Queckfilber weder unterstützt noch weiter getrieben werden.

Man wird leicht einsehen, daß bei dieser Einrichtung der Index m die Minima und der Index m′ die Maxima der Temperatur angeben. Will man nun das Instrument gebrauchen, so muß man die Indices an die Enden der Queckſilberſäule bringen, welches mittelſt eines Magnetſtabes geſchieht, der auf den in den Cylindern befindlichen Drath wirkt.

186. Gay-Luſſac hat ein Inſtrument erfunden, welches denſelben Zweck hat, aber auf einem andern Principe beruhet. Es beſteht aus einer Glaskugel A (Fig. 44), die oben in einer Röhre B von geringem Durchmeſſer endigt, welche an ihrem obern Ende mit einer ſehr geringen Oeffnung m verſehen iſt. Die Röhre iſt von einem Cylinder CD von größerm Durchmeſſer umgeben, der um die Röhre B, in der Ausdehnung FC, gekittet iſt. Die Kugel A iſt mit Waſſer und der Cylinder CD bis zu E mit Queckſilber angefüllt. Setzt man nun den Apparat einer weit niedrigern Temperatur aus, ſo entſteht in der Kugel eine Luftleere; ein der Verminderung der Temperatur proportionaler Theil Queckſilber dringt hinein und kann nicht heraus. Man wird einſehen, daß, wenn man durch vorhergehende Experimente die Queckſilbermenge beſtimmt, welche beim Sinken eines Grades des hunderttheiligen Thermometers in die Kugel dringt, und wenn man die anfängliche Temperatur kennt, man das Minimum der Temperatur, welcher das Inſtrument ausgeſetzt ſein wird, finden können wird, indem man das Queckſilber in eine graduirte Röhre MN thut, von welcher jede Abtheilung ein gleiches Volum von dem des Queckſilbers haben würde, das, durch eine Erniedrigung der Temperatur um einen Grad, in die Kugel fällt. Setzte man das Inſtrument, welches wir beſchreiben, einer höhern Temperatur aus, ſo würde ein Theil der Flüſſigkeit aus der Kugel heraus- und über das Queckſilber gehen. Käme daher die Temperatur wieder auf ihren anfänglichen Stand zurück, ſo würde man in der Kugel eine Queckſilbermenge finden, gleich der, die durch eine eben ſo viele Grade betragende Verminderung der Temperatur dahin gelangt ſein würde. Daher giebt die Menge des in die Kugel gekommenen Queckſilbers

das Maaß der Veränderungen der Temperatur über und unter der ursprünglichen, nichts aber giebt an, ob die Temperatur zu- oder abgenommen habe.

187. Man kann die Temperatur der Körper auch noch durch einen andern Prozeß schätzen, den zu kennen gut sein wird. Wenn man zwei, keine chemische Wirkung auf einander ausübende, Körper mit einander vermengt, so hängt die Temperatur des Gemenges von dem relativen Gewicht der beiden Körper, von ihrer anfänglichen Temperatur und von ihrer Wärmecapacität ab. Man wird leicht einsehen, daß, wenn man ihr Gewicht, ihre Capacität, die Temperatur eines von beiden und die des Gemenges kennt, man leicht die Temperatur des andern Körpers bestimmen können wird [1]). Man wendet diese Methode oft zur Bestimmung hoher Temperaturen an.

Viertes Kapitel.

Quellen der Wärme.

188. Die Quellen der Wärme sind sehr zahlreich; wir wollen sie nach einander betrachten.

189. Die Sonne. Dieser Körper ist jetzt diejenige Quelle der Wärme, die den meisten Einfluß auf die Erde ausübt. Sie erwärmt die verschiedenen Theile derselben, nach der Dauer ihrer Strahlung und nach der Schiefe der Strahlen, sehr ungleich. Im Allgemeinen nimmt die Temperatur, von dem Aequator nach dem Pole zu, ab. Die nördliche

---

[1]) Bezeichnet man die Masse des erstern Körpers mit m, seine Temperatur mit t, seine Capacität mit x; die correspondirenden Größen des zweiten Körpers mit m′, t′ x′, und mit T die Temperatur des Gemenges, so erhält man nach (125) folgende Gleichung:

$$mx\,(t - T) = m'x\,(T - t'),$$ woraus

man den Werth von t oder t′ leicht ableiten kann.

Hemisphäre hat, bei gleicher Breite, eine die Hälfte höhere Temperatur, als die südliche Hemisphäre.

Die Meere erwärmen sich eben so gut, wie das Festland; allein wegen der Polar-Strömungen, welche ihre Temperatur gleich zu vertheilen strebt, scheint es, daß nach den Beobachtungen A. v. Humboldt, dieselbe nirgend mehr, als 30° beträgt.

An einem und demselben Orte findet das Minimum der Temperatur der Erde beim Aufgang der Sonne, und das Maximum bei kurzen Tagen um zwei Uhr Nachmittags, und bei langen Tagen um drei Uhr statt. Die mittlere Temperatur des Tags steht der Hälfte der Summe der höchsten Temperatur und der beim Sonnen-Untergang sehr nahe. Das Maximum der Sonnenhitze findet stets zu Mittag statt. Der Grund von dieser Verschiedenheit ist leicht zu erklären, denn die zu einem Augenblicke bestimmte Wärme der Erde hängt nicht allein von der Itensität der Sonnenstrahlung an diesem Augenblicke, sondern auch von der vorhergehenden Dauer dieser Strahlung ab, und aus diesem Grunde ist auch der Sommer wärmer, als der Frühling, obgleich in beiden Jahreszeiten die Stellung der Sonne gleich ist. Im Meere scheint das Maximum der Wärme lediglich um drei Uhr statt zu finden.

190. Die Temperatur der Luft nimmt sehr rasch ab, jemehr man sich über die Erdoberfläche erhebt, indem sich die Luft nur wenig durch die unmittelbaren Sonnenstrahlen erwärmt, und weil der Einfluß der Erdstrahlung abnimmt, jemehr man sich von derselben entfernt.

191. Die Intensität der Sonnen-Wärmestrahlen ist sehr groß; man vermehrt sie bedeutend, wenn man den durch die Strahlung des erwärmten Körpers verursachten Verlust vermindert. Nach Saussure erhob sich ein, in dem Grunde eines geschwärzten und durch parallele Glastafeln verschlossenen Kasten stehendes, Thermometer in der Sonne bis zu 140°. Die in den Zwischenräumen der verschiedenen Glastafeln stehenden Thermometer gaben die abnehmende Temperatur an,

jemehr man sich von dem Grunde des Kastens entfernte. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, daß das Glas die die Sonnenstrahlen begleitende Wärme leicht durchläßt und die dunkle Wärme, in welche sich die Sonnenwärme in dem Apparate umzuwandeln scheint, aufhält.

192. Central-Wärme der Erde. Vor wenigen Jahren noch bestanden unsere Kenntnisse über die Central-Wärme der Erde nur in wahrscheinlichen Annahmen. Sie beruheten hauptsächlich: 1) auf den vulkanischen Erscheinungen, die nicht anders als durch Annahme eines Central-Feuers erklärt werden zu können scheinen; 2) auf der Applattung der Erde, die, da sie wenig von der verschieden ist, welche in Folge ihrer täglichen Umdrehung erforderlich gewesen wäre, wenn ein ursprünglich flüssiger Zustand statt gefunden hätte, diesen wahrscheinlich macht. Da sich nun eine Menge von geologischen Erscheinungen leichter erklären lassen, wenn man eine feurige und keine wässerige Flüssigkeit annimmt, so wäre es sehr wahrscheinlich, daß, wenn die Erde bei ihrer Bildung eine feurige Flüssigkeit gehabt, während welcher sie die Applattung angenommen, und wenn sie in dem Verlauf der seitdem verflossenen Jahrhunderte sich abgekühlt hätte, ihre ursprüngliche Wärme nur noch zum Theil und in großer Tiefe unter der Oberfläche existirt. Seit mehreren Jahren haben aber zahlreiche Versuche dargethan, daß für einen und denselben Ort die Temperatur in einer geringen Distanz unter der Erdoberfläche constant sei, und daß sie nach der Tiefe zu für 30 oder 40 Metres (96 bis 130 Fuß) fast um 1° zunehme. Dies könnte aber nicht der Fall sein, wenn die Erde ursprünglich nicht eine höhere Temperatur gehabt hätte; denn wenn ihre Wärme nur von den Sonnenstrahlen abhinge, so würde die Temperatur von der Tiefe ab, wo sich die täglichen und jährlichen Veränderungen der Sonne darthun, nach dem Mittelpunkte zu, bis zu dem Punkte abnehmen, an welchem die Wirkung der Sonne sich verliert, und dann würde die Temperatur der ganzen Erdmasse constant sein.

193. Das Vorhandensein der Central-Wärme der Erde

ist daher nicht mehr als ein unaufgelöstes Problem zu betrachten; allein die Intensität der Temperatur in solchen Tiefen, zu denen man nicht gelangen kann, ist es noch. Vielleicht werden einst eine große Menge von bekannten Versuchen das Mittel an die Hand geben, mittelst welches wir im Stande sind, die Zunahme der Temperatur auf der zugänglichen Ausdehnung eines Strahls kennen zu lernen, woraus wir dann die Zunahme der Wärme bis zum Mittelpunkte der Erde werden berechnen können.

194. Die beiden, auf die Temperatur der Erdoberfläche Einfluß zeigenden Ursachen, die Sonne und die Central-Wärme, wirken sehr ungleich. Die Einwirkung der Sonne bringt auf eine, wenig von der Oberfläche entfernte, Schicht periodische, tägliche und jährliche Temperatur-Veränderungen hervor. Die erstern veranlassen die Temperatur-Verschiedenheiten des Tages und der Nacht; die andern die der Jahrszeiten. Die Sonnenwärme, die weiter dringt, als in die Schicht, in welcher sich die periodischen Veränderungen zeigen, durchschneidet die Erde auf jeder Seite des Aequators und zerstreuet sich durch die Polargegenden in die Atmosphäre. Dieses unaufhörliche Fluthen der Wärme bringt in der Temperatur der Theile der Erde, welche sie durchläuft, keine Veränderung hervor. Indem sich die Centralwärme von Schicht zu Schicht bis in die Atmosphäre fortpflanzt, veranlaßt die vom Mittelpunkte der Erde bis zu deren Oberfläche abnehmende Temperatur Verschiedenheiten. Diese Differenzen nehmen mit der Zeit ab, und es kommt gewiß eine Periode, zu welcher sie ganz verschwinden und zu welcher die Temperaturen aller Theile der Erde gleich werden. Dieser Zeitpunkt ist aber außerordentlich weit entfernt, denn die Abkühlung der Erde geht äußerst langsam vor sich, sie beträgt ungefähr $^1/_{15600}$ Grad des Celsiusschen Thermometers für ein Jahrhundert.

195. Unabhängig von den allgemeinen Ursachen, welche die Temperatur-Veränderungen auf der Erdoberfläche hervorbringen, giebt es auch locale, die einen großen Einfluß haben. Dahin gehören die Höhe der Sonne, der Stand derselben, die

Nachbarschaft von Gebirgen, die Ausdehnung und Lage der Gewässer, die Winde ꝛc.

196. Druck und Stoß. Wenn ein Körper an Volum verliert, so muß sich nothwendig die Wärme daraus entwickeln, wie das Wasser aus einem zusammengedrückten Schwamm spritzt. Die Körper, deren Volum man durch langsamen und dauernden Druck vermindert, erhitzen sich ein wenig, da die Entwickelung der Wärme, weil sie während der ganzen Dauer des Drucks stattfindet, sie sich auch langsam zerstreuet. Werden dagegen die Körper heftig gedrückt, so entwickeln sie auch eine große Quantität. Es ist allgemein bekannt, daß die auf einem Amboße geschlagenen Metalle sich oft so erhitzen, daß man sie nicht in der Hand halten kann. Die Luft, das Wasser, das Sauerstoffgas und das Chlor, entwickeln, wenn sie stark zusammengedrückt werden, Wärme und Licht; und auf dieser Eigenschaft beruhen auch die pneumatischen Feuerzeuge. Diese Instrumente bestehen aus einem hohlen metallenen oder gläsernen, an dem einen Ende verschlossenen Cylinder A B (Fig. 43 b), in welchem sich ein Kolben bewegt, dessen unteres Ende a in einer kleinen Höhlung ein Stückchen Zündschwamm enthält. Stößt man nun den Kolben heftig hinunter und zieht ihn schnell zurück, so findet man den Schwamm entzündet.

197. Reibung. Wenn Körper von gleicher oder von verschiedener Beschaffenheit heftig an einander gerieben werden, so entwickelt sich eine Wärmemenge, die um so größer, je heftiger die Reibung ist. Auf diese Weise entwickelt sich viel Wärme an den Achsen der Räder, an den Metallen, die gefeilt und gebohrt werden, bei dem Stoß des Stahls gegen den Feuerstein u. s. w. Auch verschaffen sich mehrere fremde Völker dadurch Feuer, daß sie mehrere Stücken trocknes Holz stark an einander reiben. Humphry Davy rieb zwei Stücken Eis an einander und erlangte dadurch, daß ein Theil von denselben schmolz. Die Wärme-Entwickelung durch Reibung ist sehr leicht zu erklären, wenn man das System annimmt, bei welchem man die Wärme, als von den Vibrationen des

Aethers herrührend, betrachtet. Sehr schwierig wird aber dagegen die Erklärung, wenn man die Theorie von der Ausströmung zuläßt.

198. Veränderung des Zustandes der Körper. Wir sahen schon oben (162), daß jedesmal, wenn ein Gas in den flüssigen, oder eine Flüssigkeit in den festen Zustand übergehen (148), ohne daß eine Quelle der Kälte dabei vorhanden, eine Wärme-Entwickelung stattfindet. Die erstere Umänderung kann durch den Druck geschehen, die zweite zeigt sich aber nur durch chemische Wirkungen.

199. Chemische Wirkungen. Bei vielen chemischen Wirkungen findet Wärme-Entwickelung statt; bei mehrern scheint die Veränderung des Zustandes der Körper die einflußreichste Ursache zu sein, zuweilen muß sie die Differenz der specifischen Wärme der Verbindung und der ihrer Elemente zugeschrieben werden; aber bei allen ist eine Ursache der Wärme-Ausströmung vorhanden, die bloß von der Verbindung abhängt und noch unbekannt ist. Diese zuweilen schwache Ursache giebt der erst erwähnten den Vorzug; oft aber, wenn sie sehr mächtig ist, bringt sie eine Wärme-Entwickelung hervor, wenn die bloße Berücksichtigung der Veränderung des Zustandes oder der specifischen Wärme eine Absorption anzeigen würde. Unter den chemischen Erscheinungen ist in Hinsicht der Wärme-Entwickelung, die unter dem Namen der Verbrennung bekannte, die wichtigste; wir werden sie in dem folgenden Kapitel näher betrachten.

Von der Kälte.

200. Wir sahen, daß die Dauer der Temperatur der Körper auf der gegenseitigen Strahlung beruhe, und daß jedesmal, wenn ein Körper mit Beibehaltung oder Veränderung seines Zustandes sich ausdehne, er in derselben Temperatur eine weit größere Menge latenter Wärme enthalte. Es folgt daraus, daß ein Körper sich abkühlen kann; 1) wenn er mehr Wärme ausstrahlt, als die ihn umgebenden Körper; 2) wenn er sich ohne oder mit gänzlicher oder theilweiser Veränderung

seines Zustandes ausdehnt. Der erste Fall ist der der gewöhnlichen Abkühlung, wir wollen nun den zweiten untersuchen, vorher aber erst den Fall der Ausdehnung, ohne Veränderung des Zustandes, betrachten.

201. Die festen oder flüssigen Körper können ohne Wärmequellen, nur mittelst chemischer Wirkungen ausgedehnt werden; allein alsdann veranlaßt die durch die Verbindung hervorgebrachte Wärme, daß die Kälte, welche durch die Ausdehnung entstehen würde, verschwindet. Die Gase dagegen können sich durch Verminderung des Drucks ausdehnen und bringen alsdann eine beträchtliche Kälte hervor. Wenn man die in dem Recipienten einer Luftpumpe befindliche Luft ausdehnt, so fällt ein Queckſilber-Thermometer um mehrere Grade; das bei weitem empfindlichere Bréguet'sche Thermometer fällt sogar um 23°. Wenn man die Luft in einem Recipienten zusammendrückt und sie aus einer sehr engen Oeffnung entweichen läßt, so entsteht eine beträchtliche Kälte. Gay-Lussac brachte unter einem Drucke von zwei oder drei Atmosphären das in einer dünnen gläsernen Flasche eingeschlossene Wasser zum Gefrieren. Die unter diesen Umständen hervorgebrachte Kälte ist dem Druck proportional, und hat keine andere Gränzen als diesen Druck selbst. Was aber bemerkenswerth ist, es kommt diese entstandene Kälte nicht von der Expansion des Gases bei seinem Ausgange aus dem Reservoir, sie kommt von der, welche sich durch das Ausströmen in dem Reservoir selbst zeigt. Auch verändert die aus einem Reservoir, dessen Druck gleichförmig ist, ausgehende Luft das empfindlichste Thermometer nicht. Diese von Gay-Lussac und Welter bestätigte Thatsache ist noch nicht erklärt worden.

202. Die von der Veränderung des Zustandes der Körper, ohne Wärmequelle, herrührenden Ausdehnungen, sind die Verdampfung der Flüssigkeiten und das Flüssigwerden der festen Körper. Die Verdampfung der Flüssigkeiten findet von selbst statt, theils durch Strömungen der Luft, theils durch Verminderung des Drucks, oder durch fortwährende Absorption der sich bildenden Dämpfe. Das Flüssigwerden der festen Körper ohne

Wärmequelle ist niemals das Resultat chemischer Wirkungen. Von der durch Verdunstung herbeigeführten Kälte haben wir schon geredet. Wir fügen bloß hinzu, daß, wenn man sehr flüchtige Fluida, als Schwefel-Kohlenstoff oder schweflichte Säure, anwendet und die Verdunstung durch Vermehrung der freien Oberfläche der Flüssigkeit, oder durch Bewegung der Luft, oder durch Verminderung der Luft, oder indem man auf das Fluidum einen Luftstrom richtet, der sich aus einem Reservoir entwickelt, in welchem er zusammengedrückt war, beschleunigt, man sehr niedrige Temperaturen erlangen kann. Bussy erhielt durch Verdunstung der schweflichten Säure in freier Luft eine Kälte von —57°, und in einer Luftleere von —68°. Die Temperaturen wurden durch Luftthermometer bestimmt.

Die folgende Tabelle giebt die Zusammensetzung und die Wirkungen einiger Kälte erzeugenden Gemenge an.

Beschaffenheit und Verhältniß der Substanzen.	Erniedrigung der Temperatur.
1 Theil salpetersaures Ammoniak 1 Theil Wasser	von 10° bis —15,6°
1 Theil Küchensalz 2 Theile Schnee	von 0° bis —20°
3 Theile krystallis. Chlorkalk 2 Theile Schnee	von 26° bis —16°
8 Theile krystallis. schwefelsaures Natron 5 Theile Salzsäure	von 10° bis —17°
5 Theile concentr. Schwefelsäure 8 Theile krystallis. schwefelsaures Natron	von 15° bis —7°

203. Durch die Frost erzeugenden Gemenge erhält man nur eine begränzte Verminderung der Temperatur; 1) weil die Verbindung stets eine gewisse Wärmemenge entwickelt, welche die erzeugte Kälte vermindert; 2) weil die Affinität der beiden Substanzen, welche mit der Temperatur abnimmt, die Ursache, die diese Schmelzung bestimmt, zu einer gewissen

Zeit zerstört. So kann z. B. das Gemenge von Salz und Schnee nicht unter — 20° erkalten, weil bei — 20° eine Küchensalzsolution sich von ihrem Salze trennt.

204. Die Verhältnisse der Substanzen sind sehr wichtig, um die größte Wirkung zu erhalten; dies rührt daher, weil die hervorgebrachte Kälte das Resultat zweier entgegengesetzter Wirkungen ist, der von der Veränderung des Zustandes herrührenden Kälte und der durch die Verbindung hervorgebrachten Wärme, und weil diese Verschiedenheit mit den relativen Mengen der angewendeten Substanzen wechselt. Das Gemenge von Schnee und Schwefelsäure giebt ein merkwürdiges Beispiel: ein Theil Schwefelsäure und viele Theile Schnee erzeugen Frost, und gleiche Theile von beiden Substanzen Wärme.

Zweiter Abschnitt.

Von der Verbrennung und den Brennmaterialien.

Fünftes Kapitel.

Von der Verbrennung.

205. Die Erscheinungen der Verbrennung haben, wegen ihrer Wichtigkeit und wegen der sie gewöhnlich begleitenden Umstände, zu allen Zeiten die Aufmerksamkeit gefesselt. Die Wärme und das Licht, welche sich bei der Verbrennung sehr vieler Körper entwickeln, die anscheinende Zerstörung der meisten, der Einwirkung des Feuers ausgesetzten, Substanzen waren die Veranlassung, daß man über dies wichtige Phänomen unrichtige Begriffe angenommen hatte. Man glaubte, daß die Wärme, die nichts als eine Folge ist, die einzige wirkende Kraft sei. Später stellte Stahl die Hypothese auf, daß alle brennbaren Körper ein besonderes Fluidum enthielten, welches er mit dem Namen des Phlogistons bezeichnete, das sich während der Verbrennung entwickele und das die Wärme und das Licht hervorbrächte, welche diese Erscheinung gewöhnlich begleite. Diese Theorie hatte nun wirklich den Vortheil, die bis dahin isolirt gestandenen Erscheinungen zu vereinigen; allein da sie auf keinen beobachteten Thatsachen beruhete, selbst mit einer großen Anzahl derselben im Widerspruche stand, so hatte sie das Schicksal aller aus der Einbildungskraft hervorgegangenen Theorieen.

206. Es ist jedoch unser Zweck nicht, hier eine Theorie der Verbrennung mitzutheilen, wie es in einem Lehrbuche der Chemie der Fall sein müßte. Wir begnügen uns damit, die jetzt angenommenen darzustellen und führen zu deren Unterstützung einige Thatsachen auf.

207. Die Verbrennung beruhet blos auf der Verbindung eines Körpers mit dem Orygen; oft ist diese Erscheinung von Wärme und Licht begleitet, jedoch aber nicht immer.

208. Das Orygen oder der Sauerstoff ist ein gasförmiger, farbloser, aber wägbarer Körper, der alle Eigenschaften der atmosphärischen Luft besitzt, von der er einen der Grundbestandtheile bildet. Die Luft besteht aus 79 Theilen Stickstoff- und aus 21 Theilen Sauerstoffgas. Das Stickstoffgas spielt bei den Erscheinungen der Verbrennung nur eine passive Rolle, und aus diesem Grunde beschreiben wir auch hier seine Eigenschaften nicht, deren Kenntniß zu dem Gegenstande, dem dieses Werk gewidmet, nicht erforderlich ist.

209. Der Sauerstoff hat die merkwürdige Eigenschaft, sich mit allen einfachen und mit einer großen Anzahl zusammengesetzter Körper zu verbinden, die wir alle brennbare Körper nennen.

210. Die Affinität der verschiedenen brennbaren Körper zum Sauerstoff ist sehr verschieden; einige absorbiren ihn in den gewöhnlichen Temperaturen, andere erfordern dazu eine mehr oder minder erhöhete. Andere endlich verbinden sich nur dann mit dem Sauerstoffe, wenn er eine feste oder flüssige Verbindung verlassen hat. Man nennt diesen vorübergehenden Zustand: entstehendes Gas.

211. Der Sauerstoff kann auf sehr verschiedenartige Weise mit einem brennbaren Körper in Verbindung gebracht werden; denn dieser Stoff ist nicht allein in der Luft, sondern auch in einer großen Anzahl anderer Körper vorhanden. Man kann ihn rein, in Verbindung mit andern Gasen u. s. w. erhalten. Demnach kann man die Verbrennung der Körper nicht allein durch die Luft, sondern auch durch reines, oder mit andern Gasen vermengtes Sauerstoffgas, und selbst durch feste und flüssige, sauerstoffhaltige Verbindungen, hervorbringen. In allen Fällen bildet sich eine Verbindung des brennbaren Körpers mit dem Sauerstoffe. Findet eine Verbrennung des Körpers in der Luft statt, so liefert dieser letztere das nöthige Orygen. Wenn die Masse der Luft, in welcher

die Verbrennung vor sich geht, im Verhältnisse des brennbaren Körpers, klein ist, so wird sie bald verzehrt und kann die Verbrennung nicht mehr unterhalten; weshalb es nöthig ist, die Luft, welche die Erscheinung hervorbringen soll, fortwährend zu erneuern. Wenn ein Metall durch eine Säure aufgelöst ist, so erleidet jenes eine wirkliche Verbrennung, und es sind die Säure und das Wasser, welche durch ihre Zersetzung das nöthige Oxygen liefern. Bei der Verpuffung des Pulvers endlich werden die brennbaren Materien, die es enthält, der Schwefel und die Kohle, ebenfalls verbrannt, und der Salpeter ist es, der dazu das erforderliche Sauerstoff hergiebt.

212. Aus dem Vorhergehenden geht offenbar hervor, daß das Produkt der Verbrennung um das ganze absorbirte Oxygen schwerer sein müsse, als der brennbare Körper. Jedoch hat das Wort Verbrennung, wenigstens in der gewöhnlichen Bedeutung, stets den Nebenbegriff von der Zerstörung des brennbaren Körpers; und wirklich verschwinden auch die Brennmaterialien, die wir anwenden, bei der Verbrennung selbst, oder lassen wenigstens nur einen geringen Rückstand zurück. Jedoch ist diese anscheinende Anomalie leicht zu erklären. Die Produkte der Verbrennung sind entweder fest oder gasförmig. Im ersteren Falle ist der Rückstand der Verbrennung das ganze Produkt, und man findet leicht, daß eine Gewichtszunahme statt findet. Im zweiten Falle werden die Produkte, in dem Maaße, daß sie sich bilden, frei, und der Rückstand besteht lediglich aus den unverbrennlichen, in der verbrannten Materie vorhandenen, Substanzen. Wenn man daher z. B. Blei in einem thönernen oder gußeisernen Gefäße verbrennt, so erhält man als Produkt eine graue Materie, die weit schwerer, als das angewendete Blei ist; und bei der Verbrennung des Holzes und der Kohle bleiben dagegen nur fremdartige Materien zurück, die in den Brennmaterialien enthalten waren. Eben so muß man auch die Produkte von den Rückständen der Verbrennung wohl unterscheiden. Die Produkte sind Verbindungen des Sauerstoffs und

der brennbaren Körper, deren Gewicht das dieser letztern stets übertrifft, welche aber bei dem Rückstande bleiben, oder entweichen, je nachdem sie fest oder flüssig sind.

213. Wir haben schon oben erwähnt, daß die Verbrennungen gewöhnlich von Wärme und Licht begleitet seien. Es scheint im Allgemeinen, als wenn sich das Licht nur erst dann zeige, wenn die Temperatur wenigstens 500° betrage. In dieser Temperatur ist das Licht dunkelroth und kaum sichtbar; je mehr aber die Temperatur zunimmt, um so mehr Glanz erhält das Licht und in einer sehr hohen Temperatur wird es kirschroth und fast ganz weiß.

214. Wenn ein brennbarer Körper fest ist, und bleibt dies, seine Natur sei, welche sie wolle, während der ganzen Dauer der Verbrennung, so findet diese Erscheinung nur auf seiner Oberfläche statt, und diese ist leuchtend. Obgleich die umgebende Luft eine sehr hohe Temperatur erreicht, so ist sie doch nicht leuchtend, da die Gase durch eine mitgetheilte Wärme es nicht werden können, sie sei nun so groß, als sie wolle. Sie werden es nur, wenn sie selbst brennbar sind und verbrennen. So ist die, anderen brennbaren Materien beraubte, Holzkohle nur auf ihrer Oberfläche leuchtend.

215. Wenn sich aber der brennbare Körper in einer Temperatur, welche unter der steht, die sich bei der Verbrennung entwickelt, in Dämpfe verwandelt, so erstreckt sich die Verbrennung auch auf dieses. Der Ort, wo die Verbrennung statt findet, ist ein über dem Brennmaterial befindlicher Raum, denn alle diese Dämpfe sind in der hohen Temperatur, in welcher sie sich befinden, weit leichter, als die Luft. Die Gestalt des leuchtenden Raumes wird von der Gestalt und Geschwindigkeit der Dämpfe und des Luftstroms abhängen.

216. Wenn der brennbare Körper, statt in Dämpfe verwandelt zu werden, sich zersetzt und brennbare Gase entwickelt, wie z. B. Holz, Steinkohlen und Oele, so finden beim Verbrennen dieser Gase dieselben Erscheinungen statt.

217. Den Ort der Verbrennung eines Gases nennt man

die Flamme. Man kann sehr leicht durch einen Versuch finden, daß es eigentlich die Verbrennung der, sich aus den brennbaren Körpern entwickelnden, Gase ist, welche sie hervorbringt. Wenn man ein Licht so auslöscht, daß von dem Dochte noch einige glühende Punkte bleiben, so steigt von denselben ein dicker und sehr stark riechender Rauch auf. Nähert man diesem Rauche einen brennenden Körper, selbst in einiger Entfernung, so entzündet er sich und die Verbrennung pflanzt sich von oben nach unten, bis zu dem Dochte zu, rasch fort, die Flamme erhält ihre frühere Gestalt wieder und der Rauch hört auf. Man kann selbst, wie wir später sehen werden, diesen Rauch in einer gewissen Entfernung von dem Dochte verbrennen und es verhindern, daß sich die Flamme bis zu ihm ausbreite.

218. Die Verbrennung gasförmiger Körper bringt eine bei weitem höhere Temperatur hervor, als die der ersten. Dies kann man aus der Farbe und dem Glanze der Flamme ableiten, die man bei festen Körpern zur Unterhaltung der Verbrennung, mittelst eines starken Luftstroms, oder mittelst reinen Sauerstoffs, hervorbringen kann. Man kann sich davon unmittelbar überzeugen, wenn man die Gase in eine kleine Flamme fester Körper bringt; diese erhält alsdann einen Glanz, der nur durch eine sehr hohe Temperatur hervorgebracht werden kann.

219. Man muß bei der Flamme die Wärme wohl von dem Lichte unterscheiden, denn diese beiden Wirkungen sind nicht von gleicher Natur. Bei vollkommener Verbrennung ist die Menge der entwickelten Wärme, bei gleicher Beschaffenheit des Brennmaterials, stets gleich, bei verschiedenen Brennmaterialien aber verschieden. Hierauf werden wir jedoch später, mit allen erforderlichen Details zurückkommen. Das Licht dagegen hängt bei gleichem Brennmaterial, und bei gleichem Aufgang derselben, in gleicher Zeit, von einer großen Menge von Umständen ab, deren vorzüglichste wir beschreiben wollen.

220. Damit die Flamme eines und desselben brennbaren Gases so glänzend als möglich sei, muß seine Temperatur

eine bedeutende Höhe und der Luftstrom, den sie unterhält, eine bedeutende Schnelligkeit haben; allein je mehr sie an Glanz zunimmt, verliert sie an Ausdehnung, und da diese Abnahme weit größer, als die Zunahme des Glanzes an jedem Punkte ist, so vermindert sich ihre Leuchtkraft. In jedem besondern Falle giebt es eine Geschwindigkeit des Luftstroms, welche das Maximum der Leuchtkraft hervorbringt; es ist die, welche auf die Flamme eine gerade hinlängliche Menge Luft führt, um eine vollständige Verbrennung zu veranlassen.

221. Die Ausdehnung einer Flamme hängt von dem Durchmesser der sich erhebenden Säule des brennbaren Gases, von dem Verhältnisse der Geschwindigkeiten dieses Gases und der umgebenden Luft, und ihre Richtung hängt von der des Luftstroms ab.

222. Damit eine Flamme sehr glänzend sei, muß sie auf irgend eine Weise feste Materien enthalten; es müssen in derselben entweder bleibend feste Körper vorhanden sein, oder das Gas muß, ehe es verbrennt, dergleichen absetzen, oder es muß das Produkt der Verbrennung fest sein. Alle brennbaren Gase, welche nicht die eine oder die andere dieser Bedingungen erfüllen, haben nur ein schwaches Licht. So findet bei der Verbrennung des reinen Wasserstoffgases oder des Schwefels, eine wenig glänzende Flamme statt, weil das Produkt der Verbrennung des Wasserstoffgases Wasserdämpfe sind, und das des Schwefels gasförmige schweflichte Säure. Die Flammen des Phosphors, des Arseniks und des gekohlten Wasserstoffgases haben dagegen einen bedeutenden Glanz, weil durch die Verbrennung der beiden erstern feste Körper hervorgebracht werden und der des gekohlten Wasserstoffgases ein Absatz von Kohle hervorgeht.

223. Die Nothwendigkeit von dem Vorhandensein fester Körper in den Flammen, damit diese glänzender seien, kommt daher, daß die Gase, wie schon oben bemerkt wurde, nur in einer Temperatur leuchtend sind, die bei weitem über der der festen Körper steht.

224. Zum Brennen erfordern die Gase, nach ihrer Be-

schaffenheit, eine mehr oder minder hohe Temperatur. Einige, wie das gephosphorte Wasserstoffgas, entzünden sich in der Luft, in der gewöhnlichen Temperatur; andere, wie die meisten Gase und Dämpfe, welche von den, bei der Erheitzung und Erleuchtung angewendeten Brennmaterialien herrühren, erfordern eine höhere Temperatur, als eine Rothglühhitze. Es ist auch ganz bekannt, daß mittelst eines rothglühenden Körpers der Rauch einer Lampe, eines Lichts, des Holzes ꝛc., nicht entzündet werden können. Es folgt hieraus, daß, wenn man einen großen Theil von der Wärme einer Flamme entfernt, die Verbrennung theilweise aufgehalten werden, oder ganz aufhören könnte.

225. Wenn man einen Luftstrom auf eine Flamme richtet, so bringt derselbe zwei entgegengesetzte Wirkungen hervor. Da sich die zur Verbrennung erforderliche Luft schneller erneuert, so vermindert sich das Volum der Flamme, und deren Glanz vermehrt sich. Auf der andern Seite aber strebt der Luftstrom, da er auf seinem Laufe Wärme mit wegnimmt, die Temperatur der Flamme, und folglich ihr Licht, zu vermindern. Diese beiden Wirkungen haben immer statt; allein das Resultat, d. h. ihre Differenz, hängt von dem Verhältnisse zwischen der Masse der Luft und der des Brennmaterials ab. Ist der Luftstrom im Verhältniß zu der glühenden Masse, so ist die Wirkung die, daß die Stärke der Verbrennung zunimmt. Wird er z. B. durch eine sehr enge Röhre herbeigeführt, so wird die Verbrennung sehr heftig, wie dies der Fall ist, wenn man einen Luftstrom mittelst eines Löthrohrs auf eine Flamme richtet. Findet das Entgegengesetzte statt, so vermindert sich das Volum der Flamme, und sie verlöscht endlich.

226. Man kann die Temperatur einer Flamme auch vermindern, wenn man einen hinlänglich großen, und die Wärme gut leitenden, festen Körper, wie z. B. ein Stück Metall, hineinhält. Die Flamme nimmt sogleich eine röthliche Farbe an, und es entwickelt sich ein Theil des brennbaren Gases, ohne verbrannt worden zu sein. Man sieht

dies leicht, wenn man in die Flamme eines Lichts ein Stückchen Eisen, oder anderes Metall hält.

227. Diese Thatsache hat den berühmten Sir Humphry Davy auf ein sehr leichtes Mittel geführt, die Flamme aufzufangen, wovon er darauf eine sehr glückliche Anwendung gemacht hat. Wenn man ein feines Metallnetz durch eine Flamme legt, so kann sich, da die Wärme der Flamme durch das Metall absorbirt wird, die Verbrennung nicht über das Netz verbreiten, sondern die Flamme wird von demselben aufgehalten, und oberhalb desselben ist Rauch. Man kann, wenn man die Flamme auslöscht, das Metallnetz darüberlegt, das Gas über demselben anzündet, hier eine Flamme und unterwärts Rauch haben. Damit sich aber diese Wirkung zeige, und auch fortdaure, wenn das Netz erhitzt ist, muß dessen Geflecht um so feiner sein, je brennbarer das Gas ist, dessen Flamme man aufhalten will.

228. Dieser Einfluß der Metall-Gewebe hat H. Davy auf die Erfindung einer Sicherungslampe für Bergleute geführt, die im Stande ist, schreckliche Unglücksfälle zu verhüten, und die daher als eins der kostbarsten Geschenke angesehen werden muß, welches die Chemie den Gewerben gemacht hat.

229. In manchen Steinkohlenbergwerken entwickelt sich nämlich gekohltes Wasserstoffgas, welches bekanntlich sehr leicht entzündlich ist. Im Gemenge mit der atmosphärischen Luft, in den bergmännischen Bauen, giebt es, wenn es mittelst einer Lampe, oder irgend eines andern Körpers von hoher Temperatur, entzündet wird, Veranlassung zu fürchterlichen Explosionen, den sogenannten schlagenden Wettern der deutschen, Fire damp der englischen und Feu grisou der französischen Bergleute, da sich die Verbrennung fast augenblicklich durch die ganze Masse verbreitet. Um diese gefährlichen Explosionen, durch welche sehr viel Bergleute auf eine schreckliche Weise getödtet werden, zu verhindern, verschafften sich sonst die Arbeiter zuweilen mittelst eines Feuerrades das nöthige Licht. Die fortwährend durch den Stoß des Stahls gegen

den Feuerstein hervorgelockten Funken gaben ein spärliches Licht, welches oft ganz unzureichend war. Davy umgab die Flamme einer Lampe mit einem Metallnetze, welches eng genug ist, so daß die Flamme nicht nach der Außenseite dieser Art von Laternen fortgepflanzt werden kann. Jedoch ist der Zwischenraum noch groß genug, um eine große Partei Licht durch zu lassen. Dieser kleine, einfache Apparat ist jetzt bei allen großen Steinkohlenbergwerken angewendet, und er gewährt nicht allein den Vortheil, die Explosionen zu vermeiden, sondern auch das Dasein eines explodirenden Gemenges anzuzeigen; denn wenn man die Sicherungslampe an einen Ort bringt, der schlagende Wetter enthält, so explodiren die, welche in die Laterne dringen, und während eines kurzen Augenblicks ist diese ganz von der Flamme erfüllt; allein die Verbrennung kann sich nicht nach außen verbreiten und der Docht wird verlöschen.

230. Fig. 45, Taf. 3, stellt die Davy'sche Sicherungslampe dar. A A ist der Oelbehälter; B B der Cylinder von Metallgaze, umgeben von einem Gehäuse von grobem Eisendrath, welcher ihn unterstützt und bewahrt, und einen Deckel trägt, an welchem ein Haken befestigt ist. Die Platte M M, auf welcher das Metallnetz befestigt ist, wird auf den Oelbehälter aufgeschroben, damit aber der Arbeiter die Lampe nicht öffnen und die Flamme frei machen könne, um mehr Licht zu haben, oder um seine Pfeife anzuzünden, können diese beiden Theile aber nicht eher auseinander geschroben werden, als bis eine senkrecht durch beide gehende Schraube entfernt ist, deren Kopf am untern Theile der Lampe befindlich ist, und der nur mittelst eines Schlüssels gedrehet werden kann, der nicht in die Hände der Arbeiter kommt. Die Tülle, welche den Docht enthält, hat an der Seite eine Oeffnung, durch welche man, mittelst eines gekrümmten, durch den Oelbehälter gehenden und von unten bewegten Drathes (Fig. 46) den Docht höher oder niediger stellen kann [1]).

---

[1]) Ueber Davy's Sicherungslampe (Villefosse Mineralreichthum,

231. Die Flamme leuchtet nur an der äußern Oberfläche, denn hier nur ist das brennbare Gas mit der äußern Luft in Berührung, und hat nur die Verbrennung statt. Hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man ein Metallnetz durch eine Lichtflamme legt.

Wir gehen hierbei in keine nähere Details über die Erscheinungen der Verbrennung ein; allein wenn wir von den in den Künsten und Gewerben angewendeten Brennmaterialien handeln, werden wir auch die besondern Umstände, welche ihre Verbrennung darbietet, so wie die Produkte, welche sie liefert, betrachten.

Sechstes Kapitel

Von den Brennmaterialien im Allgemeinen und den angewandten Methoden, ihre Erheizungsfähigkeit zu bestimmen.

232. Die brennbaren Körper bilden eine sehr zahlreiche Klasse, denn sie umfassen nicht nur die einfachen, sondern auch eine große Anzahl zusammengesetzter Substanzen. Jedoch ist die Zahl derjenigen, welche zur Hervorbringung von Wärme in den Künsten und Gewerben angewendet werden, nur gering, da sie, um gebraucht werden zu können, mehreren wichtigen Bedingungen entsprechen müssen, wodurch eine große Anzahl ausgeschlossen wird.

233. 1. Müssen sie in der atmosphärischen Luft leicht brennen, und die durch die Verbrennung entwickelte Hitze muß hinlänglich sein, um jene zu erhalten; oder, mit andern Worten, es muß die durch die Verbrennung entwickelte Wärme stärker sein, als die, welche zu ihrer Hervorbringung erforderlich ist. Der Schwefel, die Kohle, der Wasserstoff, der Phos-

---

deutsche Ausg. II. 139. Karsten's Archiv für Bergbau und Hüttenwesen, I. 1. 165. II. 1. 173. II. 2. 159. Gilbert's Annalen, Jahrg. 1820, mehrere Hefte. H.

phor entsprechen diesen Bedingungen; allein mit dem Eisen und dem Blei, obgleich beide sehr brennbar sind, ist es nicht der Fall; denn wenn man diese Metalle, im glühenden Zustande, aus dem Heerde wegnimmt, in welchen sie gelegt werden mußten, so hört die Verbrennung auf. Es ist wahrscheinlich, daß dies daher kommt, daß, da der verbrannte Körper ein fester ist, er um das Metall eine Rinde bildet, welche es der Berührung der Luft entzieht. Dieser Grund wird noch wahrscheinlicher, wenn man bedenkt, daß in dem reinen Sauerstoffgase, in welchem die Verbrennung des Eisens erfolgt, die Temperatur hoch genug ist, daß das Eisenoxyd, indem es sich bildet, in Fluß geräth. Es sei nun übrigens, wie ihm wolle, so giebt es sehr brennbare Körper, in denen die Verbrennung, unter den gewöhnlichen Umständen, sich nicht weiter fortpflanzt, und diese sind, zur Erzeugung von Wärme und Licht, in den Gewerben und Künsten, von gar keinem Nutzen.

2) Sie müssen in Menge und zu billigen Preisen vorhanden sein.

3) Die Produkte der Verbrennung müssen von der Beschaffenheit sein, daß sie die Körper, auf welche die Wärme einwirkt, nicht verändern, und daß sie der Luft keine Gase und Dämpfe mittheilen, welche der vegetabilischen oder animalischen Oeconomie schädlich wären.

234. Der Kohlen- und der Wasserstoff sind die einzigen einfachen Körper, welche diese verschiedenen Bedingungen erfüllen, auch bestehen die angewendeten Brennmaterialien hauptsächlich aus diesen beiden Elementen.

235. Die gewöhnlich benutzten Brennmaterialien sind folgende:

Holz,
Holzkohlen,
Stein- und Braunkohlen,
Koaks,
Torf,
Torfkohlen,

Briquetten,
Lohkuchen.

236. Ehe wir jedoch diese verschiedenen Substanzen näher untersuchen, wollen wir das Verfahren zeigen, welches man angewendet hat, um ihr Erheizungs-Vermögen zu erfahren.

237. Man nimmt im Allgemeinen an, daß gleiche Mengen von einem Brennmateriale durch ihre Verbrennung stets gleiche Wärmemenge entwickeln, die Art der Verbrennung sei, welche sie wolle; sie geschehe in der Luft, schnell oder langsam, oder durch irgend einen andern, das Sauerstoffgas leicht abtretenden, Körper. Graf Rumford scheint über diesen Gegenstand einige Versuche gemacht zu haben, jedoch hat man meines Erachtens jetzt noch nicht die erforderlichen Elemente in Händen, um diese Frage vollständig zu lösen. Indem wir nun erwarten, daß neue Beobachtungen die angenommene Meinung bestätigen oder umstoßen, erkennen wir sie für jetzt um so mehr als richtig an, da es wenig wahrscheinlich ist, daß Differenzen in der Erhitzungskraft eines und desselben Brennmaterials, welches unter verschiedenen Umständen verbrannt worden, stattfinden, und daß sie bedeutend genug seien, um Einfluß auf die Benutzung zu haben.

238. Das Calorimeter von Laplace und Lavoisier, welches wir oben (125) beschrieben haben, könnte zur Bestimmung der durch die Verbrennung verschiedenen Brennmaterialien entwickelter Wärme angewendet werden. Es müßten zu dem Ende in dem innern Raume des Calorimeters zwei Oeffnungen, die eine zur Einführung der frischen und die andere zur Ableitung der verbrannten Luft, vorhanden sein. Jedoch würde es weit vortheilhafter sein, dem Raume die Gestalt eines Schlangenrohrs zu geben und die Verbrennung außerhalb unter einem umgekehrten Trichter vorzunehmen.

239. Graf Rumford hat zu dem Ende einen weit einfachern Apparat construirt, der auch oben (134) beschrieben worden ist. Um den Apparat zu gebrauchen, füllt man den Kasten mit Wasser von einer gewissen Temperatur, und läßt

den Rauch von dem unter dem Trichter P Q (Fig. 37) verbrannten Brennmaterial durch die Schlange gehen. Wenn man nun das Gewicht des verbrannten Materials, das Gewicht des in dem Kasten befindlichen Wassers, die Temperatur, welche es angenommen hat, und das Gewicht des Kastens kennt; so kann man daraus die von einem gegebenen Gewicht des Brennmaterials entwickelte Wärme deduciren. Es betrage z. B. die Menge des aufgegangenen Brennmaterials 10 Grammen, das Gewicht des Wassers 10 Kilogrammen, das des Kastens 1 Kilogramm und die Erhöhung der Temperatur des Wassers 5°. Die Wärmecapacität des Kupfers ist = 0,0949, die Menge der von dem Kasten absorbirten Wärme wird der gleich sein, die von einem gleichen Gewicht Wasser absorbirt worden wäre, multiplicirt mit 0,0949. Demnach hat die entwickelte Wärme ein Gewicht Wasser von 10 Kilogr. + 1 × 0,0949 = 10,0949 um 5° erwärmt, und könnte 10,0949 × 5 = 50,4745 Kilogr. Wasser um 1 Grad erhöhen.

240. Bei dem Gebrauch des Rumfordschen Calorimeters sind außer der sich auf die Masse des Apparats und auf die Abkühlung während der Operation beziehenden Correctionen, noch zwei andere zu machen, die man nicht berücksichtigt zu haben scheint. Diese kommen: 1) von der Temperatur der Luft oder der Dämpfe, welche aus der Schlangenröhre gehen; 2) von der Strahlung des Wärmestoffes unter dem Trichter, unter welchem die Verbrennung stattfindet. Diese beiden Correctionen sind sehr wichtig, meines Wissens aber gar nicht gemacht worden, denn die erstere erfordert nicht allein eine Kenntniß der Temperatur der Luft bei ihrem Ausgange, sondern auch die der Schnelligkeit des Stroms, die sehr schwer zu bestimmen sein würde. Was die zweite betrifft, so müßte man die Menge der Wärme kennen, welche die verschiedenen Brennmaterialien ausstrahlen und die Weite des Kegels messen, welcher die Strahlen zerstreuet.

241. Hieraus kann man also abnehmen, daß man bei der Anwendung des Rumfordschen Calorimeters weit unsicherere Resultate erhält, als bei der des Eis-Calorimeters.

242. Kürzlich hat der Amerikaner Marcus Bull zahlreiche Versuche gemacht, um die relativen Wärmemengen zu bestimmen, welche durch die Verbrennung von Steinkohlen, Holz und Holzkohlen, die man in den vereinigten Staaten gebraucht, entwickelt werden. Der dabei angewendete Apparat ist ganz von den bis dahin bekannten verschieden. Der Apparat und die Versuche wurden zuerst in dem Franklin Journal, vom Jahre 1826, mitgetheilt; daraus sind sie im Märzhefte vom Jahre 1827 des Bulletin de la societé d'encouragement aufgenommen, und aus diesem auszugsweise in die vorliegende Schrift.

243. Die fraglichen Versuche wurden von Herrn Bull in der Ueberzeugung unternommen, daß die ungeheuren Differenzen, die sich bei den Resultaten Lavoisier's, Crawford's, Rumford's und Dalton's finden, daher rühren, weil diese Physiker unpassende Mittel angewandt hatten. Der Amerikaner bediente sich eines eigenthümlichen Apparats, in welchem er große Mengen von Brennmaterialien verbrennen konnte, und nahm sich vor, folgenden Bedingungen Genüge zu leisten:

1) Daß der Apparat, in welchem die Verbrennung stattfindet, so construirt sei, daß die ganze erzeugte Wärme, oder ein constanter Theil derselben, durch ein unveränderliches Mittel gemessen werden könne.

2) Daß der die Wärme aufnehmende Körper durch Mittheilung einer gleichen Wärmemenge stets einen gleichmäßigen Eindruck erleide.

3) Daß das umgebende Mittel eine bestimmte Temperatur besitze. Nach vielen Veränderungen ist Bull endlich bei folgendem Apparate stehen geblieben.

244. In einem Zimmer von 14 Fuß Länge, 11 Fuß Tiefe und 9½ Fuß Höhe ist ein anderes Zimmer von 8 Fuß Länge, Tiefe und Höhe oder von 512 Kubikfuß körperlichen Inhalt befindlich. Fig. 47 Taf. 3 giebt eine perspectivische Ansicht von dem Innern dieses Zimmers.

Das Gebälk des Zimmers besteht aus drei und vier Zoll starken Stücken Holz, die mittelst Zapfen und Zapfenlöchern

mit vorgesteckten Keilen sehr fest mit einander verbunden, so daß durchaus kein Verwerfen möglich ist. Der Boden ist sechs Zoll von dem des äußern Zimmers entfernt, die Decke von der dieses letztern eben so weit; zwischen den Seitenwänden der innern und äußern Kammer ist aber ein größerer Zwischenraum befindlich, so daß die Luft zwischen beiden frei circuliren kann. Die innern Wände sind so genau, als möglich, geweißt. Der Ofen a (Fig. 47) ist ein 12 Zoll hoher und 4 Zoll weiter Cylinder von Eisenblech. Der Aschenfall ist 4 Zoll hoch. Zwischen demselben und dem eigentlichen Ofen kann ein hohles Stück Blech g von weit größern Dimensionen geschoben werden, das mit Löchern von ½ Zoll Weite versehen ist. Die Fig. 48 stellt es nach einem größern Maaßstabe dar. Drei Zoll über diesem Bleche ist ein anderes in dem Ofen angebracht, welches mit Löchern von ¼ Zoll Durchmesser durchbohrt ist. Das Innere des Ofens ist so eingerichtet, daß es einen Kegel h aufnehmen kann, dessen Spitze nach unten zu gekehrt ist. Man bedeckt ihn mit Erde und läßt blos eine Stelle von 1½ Zoll Durchmesser offen, auf welcher das Brennmaterial liegt. Der Raum zwischen den beiden Stücken durchlöcherten Blechs ist bei den Versuchen mit geringen Mengen Anthracit erforderlich, indem man die Luft, soviel als möglich, von ihrer Berührung mit dem in Verbrennung befindlichen Körper zu erwärmen sucht. Die Erdschicht ist als ein nicht leitender Körper nöthig. Dem Ofen wird mittelst der Löcher k, über dem Aschenfall oder der untersten Thür f, Luft zugeführt. Diese Oeffnungen können durch in Falzen laufende, in Fig. 47 jedoch nicht dargestellten, Schieber sehr genau verschlossen werden. Die Thür l hat den Zweck, um in den obern Raum zu gelangen. Um Wasser zu erwärmen, kann ein sichelförmiges Gefäß von Zinn zwischen die obere und untere Thür gestellt werden. Dieses Gefäß fügt sich genau an den Ofen, kann aber auch nach Belieben auf eine gewisse Distanz zurückgezogen werden: man kann auf diese Weise den hygrometrischen Zustand der Luft reguliren.

Alle Thüren des Ofens sind als offen stehend dargestellt worden. Das Brennmaterial wird durch die obere Thür n eingelegt. Der den Ofen mit der Röhre verbindende Kegel i ist 10 Zoll lang und paßt genau auf den Ofen; man kann ihn aber sehr leicht abnehmen, um von dem Heerde und aus dem Aschenkasten das nicht verbrannte Brennmaterial wegzunehmen, da die Röhre mittelst der Dräthe p an die Decke festgehängt ist und sitzen bleibt, wenn man auch den Ofen auseinander nimmt.

An dem Kegel befindet sich, $^3/_4$ Zoll über seiner Verbindung mit dem Ofen, eine Oeffnung g von $1^1/_2$ Zoll Länge und einem Zoll Weite, die mit einem dünnen Glimmer-Blättchen bedeckt ist, welches ein um den Ofen gehender Drath festhält. Man kann auf diese Weise das Feuer beobachten, ohne nöthig zu haben, die obere Thür zu öffnen. Die zwei Zoll im Durchmesser habende Röhre o, besteht aus sehr dünnem Zinn, damit die Wärme der Luft auf die möglichst leichteste Weise mitgetheilt werde. Jedes Kniestück ist neun Zoll lang und die Länge der ganzen Röhre beträgt 42 Fuß. Sie ist jedoch unzulänglich, um der Luft alle entwickelte Wärme mitzutheilen, deren Verlust 3° betrug, ehe man an ihrem Ende die zinnerne Büchse e angebracht hatte. Diese Büchse ist vierzehn Zoll lang, zehn Zoll breit und drei Achtel Zoll hoch. Ihre Flächen sind äußerlich und innerlich geschwärzt. Indem die warme Luft durch dieselbe geht, ist sie einer weit größern Oberfläche, als in der Röhre ausgesetzt und verliert alle Wärme, die noch in dieser vorhanden war. Die Fugen der Röhre sind vollkommen mit Thon lutirt und ihre Oberfläche ist mit einem schwarzen Firniß überzogen.

Die Klappen b, c, d, mittelst welcher der Eintritt der Luft in den Ofen regulirt wird, haben alle eine gleiche Construction, bestehen aus dünnem Blech und schließen sehr genau. Fig. 49 ist ein Aufriß von der Klappe b, die hier als ganz offen dargestellt ist. Sie sind an einen Drath r genietet, welcher durch das Centrum der Röhre geht und außen einen An-

griff zum Drehen der Klappe und einen Index, um sie zu reguliren, hat.

Der Luftstrom kann nach Belieben durch die Klappe d stattfinden, und kann auf das Maximum der Geschwindigkeit und Intensität gebracht werden, wenn man ihn, statt durch den flachen Kasten e, durch die gekrümmte Röhre leitet. Man wendet diesen Weg an, wenn man Anthracit und gewisse Körper mit Geschwindigkeit verbrennen und die Temperatur des Zimmers, zu Anfang eines Versuchs, auf einen gewissen passenden Grad erheben will.

Bull hat viel Mühe gehabt, die Bewegung der Klappen mit hinlänglicher Genauigkeit zu reguliren; er ist mittelst eines in zwanzig gleiche Theile getheilten und auf der Achse befestigten Halbkreises s dahin gelangt.

Die Klppe b ist besonders dazu nöthig, um in einem passenden Augenblicke die Verbrennung der Substanzen, die in dem Ofen nicht ganz verzehrt werden können, aufzuhalten. Man gelangt sogleich hierzu, wenn man die Klappe und die Oeffnungen bei k verschließt, damit gar keine Luft ein- und auch nicht austreten kann.

Die Röhre geht durch die eine Wand des innern Zimmers und mündet in dem äußern. In der Nähe des Endes der Röhre, in dem Innern des Zimmers, ist in jener eine Oeffnung befindlich, in welche man die Kugel des Thermometers t bringt. Diese Oeffnung wird sehr genau durch eine dünne Zinnplatte verschlossen und paßt genau über die Röhre des Thermometers, dessen Kugel im Innern der Ofenröhre befindlich ist.

u ist ein anderes Thermometer, an der Wand des Zimmers befestigt; seine Kugel ist durch eine sehr glänzende Zinnplatte vor dem Einflusse der Strahlung geschützt. Man kann dies Thermometer genau mit dem andern vergleichen.

v ist ein Leslie'sches Differential-Thermometer, dessen Hälfte in dem äußern Zimmer befindlich ist. Die Röhre ist in der Wand durch einen Pfropf befestigt. Das hier ange-

wendete Thermometer zeigte 20° bei 1° des Fahrenheitschen Queckſilber=Thermometers.

x iſt eine zinnerne, zwei Zoll weite Röhre, die in ſenkrechter Richtung durch den Fußboden geht, und ſich mittelſt eines Kniees in der Nähe des Ofens öffnet. Sie iſt mit einer Klappe verſehen, um die zur Reſpiration und Verbrennung erforderliche Luft zu reguliren.

y iſt ein Hygrometer, beſtehend aus einer Aehrenſpitze von Wieſenhafer, die in einer kleinen kupfernen, mit einem Glaſe bedeckten, Büchſe eingeſchloſſen iſt.

Das Barometer 7 bedarf keiner weitern Beſchreibung.

Das äußere Zimmer hat einen körperlichen Inhalt von 860 Kubikfuß, wovon jedoch 542 Kubikfuß für das innere Zimmer und für die Materialien, aus denen es beſteht, abgehen. Dieſes Zimmer liegt nach Mittag zu und iſt vor dem Weſtwinde durch ein, 10 Fuß ſüdwärts vorſpringendes, Gebäude geſchützt. Es hat ein, mit einem äußern Boden verſehenes, Fenſter, wodurch das Licht, wenn es erforderlich iſt, nach Belieben ausgeſchloſſen werden kann. Die ſüdlichen und öſtlichen Mauern ſind von Ziegelſteinen und 10 Zoll ſtark; die beiden andern Wände beſtehen dagegen aus Fachwerk von Holz und Gyps, und ſind nur 4½ Zoll ſtark. Sie ſcheiden das Zimmer weſtwärts von einem Gange und nordwärts von einem andern Zimmer. Der Kamin liegt an der Oſtſeite. Es iſt ein kleiner Ofen in dem Zimmer befindlich, deſſen Röhre durch die Platte des Heizkaſtens geht. In derſelben Höhe, als wie im innern Zimmer, iſt ein Queckſilber=Thermometer angebracht, und auf einem Tiſche eine genaue Wage, um die zu den Verſuchen dienenden Gegenſtände zu wägen.

245. Dieſe werden nun auf folgende Weiſe ausgeführt. Man wägt gleiche Theile von jeder Subſtanz, in ganz trocknem Zuſtande, d. h. die bei 250° F. keinen Gewichtsverluſt mehr erleiden, ab.

Man beſtimmt die Zeit, während welcher die Verbrennung jeder Subſtanz die Temperatur des innern Zimmers um 10° höher, als die des äußern erhebt.

Die Differenz der Temperatur zwischen beiden Zimmern, welche 10° beträgt, erhält man darin, indem man trockne Holzkohlen verbrennt und macht alsdann die Versuche mit einer von den angewendeten Substanzen. Wenn diese in Holz bestehen, so nimmt man die Kohlen weg, um sie in einem andern Zimmer aufzubewahren, und man zündet das in Stücken von zwei Zoll Länge und von einem halben Quadratzoll Stärke zerschnittene Holz mit einer Lampe an. Besteht aber die Substanz in einem nicht so leicht entzündlichen Brennmaterial, so nimmt man die Kohlen aus dem Ofen, wägt eine halbe Unze davon ab, bringt diese sehr schnell in den Ofen zurück und notirt ganz genau den Namen der Substanz, ihre Beschaffenheit, so wie den Stand des Thermometers, des Hygrometers und Barometers und die Zeit, in welcher sie verbrennt, wobei man sich einer guten Taschenuhr bedient. Das Steigen des Thermometers wird von zehn zu zehn Minuten notirt, und den Luftzug regulirt man so, daß die Differenz der Temperatur der beiden Zimmer sich gleich bleibt, d. h. auf solche Weise, daß die Menge der in jedem Augenblicke entwickelten Wärme den Wärmeverlust der Luft des äußern Zimmers durch die Mauern, so wie den des innern Zimmers durch die Wände, aufhebt.

Der Anthracit kann nicht ganz verbrannt werden, selbst in Oefen, die dazu eingerichtet sind. Man sammelt das auf dem Heerde oder im Aschenkasten Uebrigbleibende und schlägt es durch ein Sieb, um die Asche abzusondern, trocknet, und wägt es, um es von dem Ursprünglichen abzuziehen.

Muß man Holzkohlen zum Anzünden des Brennmaterials anwenden, so muß deren Heizkraft, die aus andern Versuchen bekannt ist, von dem erhaltenen Resultate abgezogen werden.

Während der Experimente muß man zuweilen aus einem Zimmer in das andere gehen, und wenn man dabei die nöthige Vorsicht anwendet, so erleidet das Differential-Thermometer durchaus keinen Eindruck.

Gleiche Gewichtsmengen verschiedener Brennmaterialien entwickeln während ihrer Verbrennung verschiedene Wärme-

mengen. Die der Hölzer ist bei gleichem Gewicht vielleicht geringer, als man es gewöhnlich annimmt; fast kommt diese Menge mit der der Kohlen überein, die in dem Holze enthalten sind. Bei gleichen Maaßtheilen oder Voluminibus sind die entwickelten Wärmemengen, wegen der so verschiedenen Dichtigkeit der Hölzer, sehr verschieden. Dies ist auf die nach dem Maaß verkauften Kohlen anwendbar.

246. Der Werth einer gegebenen Menge von Brennmaterial steht im Verhältnisse zu der Zeit, die in gegebenem Gewicht die Luft eines Zimmers in einer gegebenen Temperatur erhält, und endlich auch zu seinem Gewichte.

247. Das beschriebene Verfahren ist viel langwieriger und weitläufiger, als die von Lavoisier, Rumford ꝛc. angewendeten; es scheint aber auch weit sicherer zu sein, denn man kann mit weit größern Mengen Versuche anstellen. Auch scheint Bull die gehörige Sorgfalt angewendet zu haben, um die Ursache der Irrungen zu vermeiden, oder doch wenigstens ihren Einfluß zu berücksichtigen. Indem wir die verschiedenen Klassen von Brennmaterialien untersuchen, sollen die von Marcus Bull erhaltenen Resultate mitgetheilt werden.

248. Strahlende Wärme. Wenn ein Körper verbrennt, so verbreitet sich die Wärme auf zweierlei verschiedene Weise: 1) durch den Luftstrom, der sich auf natürliche Weise bildet, die Verbrennung geschehe nun in freier Luft, oder in einem besondern Apparat; 2) durch die Strahlung.

Der Luftzug kommt von der specifischen Leichtigkeit, welche die die Verbrennung nährende Luft erlangt. Die in Berührung mit glühenden Körpern kommende Luft wird warm, dehnt sich aus, wird specifisch leichter als die umgebende, und muß sich daher erheben. Sie wird von neuer Luft ersetzt, die, nachdem sie die Verbrennung unterhalten hat, sich ebenfalls erwärmt und erhebt. Demnach bestimmt daher die Verbrennung selbst den zu ihrer Unterhaltung nöthigen Luftstrom.

249. Was nun die zweite Ursache der Verbreitung der durch die Verbrennung entwickelten Wärme betrifft, so ist sie

auf eine allgemeine Eigenschaft aller erwärmten Körper gegründet (6).

Bis jetzt hat man die Strahlung der brennbaren Körper gar nicht berücksichtigt, da man sie für sehr schwach hielt. Um zu zeigen, daß durch dies Strahlen nur eine gewisse Wärmemenge verbreitet wird, vergleicht man die Wärme, die man empfindet, wenn man sich der Flamme eines Lichtes von der Seite und von oben nähert. Seitwärts erhält man nur die strahlende Wärme, senkrecht nur die von dem warmen Luftstrome. Da nun auf gleichen Entfernungen die Differenz der Temperatur bedeutend ist, so folgert man daraus, daß die Verbreitung der Wärme durch Strahlung sehr gering sei.

Dieser Versuch, der auf den ersten Blick entscheidend zu sein scheint, kann jedoch zu keiner allgemeinen Folgerung führen. Wirklich zeigt sich der warme Luftzug nur in einer Richtung und sein Durchmesser ist nicht größer als der der Flamme, während die Strahlung in allen Richtungen stattfindet (Fig. 50). Um daher das Verhältniß der durch den Luftzug und durch die Strahlung verbreiteten Wärmemengen kennen zu lernen, ist es nicht hinreichend, die Temperatur des Luftstroms mit der zu vergleichen, welche in gleicher Distanz von der Flamme, von der Strahlung hervorgebracht wird, sondern man müßte auch diese letztere mit dem Verhältniß der Ausdehnung des Kreises zu dem des von dem Luftstrome aufgefangenen Sectors multipliciren. Man müßte auch ferner noch mehrere andere Rücksichten nehmen, wie z. B. die Geschwindigkeit des Luftstroms, die specifische Wärme der Luft ꝛc. Man sieht hieraus, daß das obige Experiment für die Strahlung der Flamme nichts beweist und noch weniger für die derjenigen Brennmaterialien, die ohne Flamme verbrennen.

250. Es war jedoch wichtig, zu bestimmen, welche relative Wärmemenge sich durch die Strahlung verbreitet; denn die strahlende Wärme ist es allein, die bei unsern Kaminen benutzt wird, und es wäre gut, sich zu überzeugen, ob man, wie mehrere Physiker versichert haben, auf diese Weise wirklich

nur von einigen Zehnttheilen der von dem Brennmaterial entwickelten Wärme profitirt.

251. Ich habe über diesen Gegenstand sehr viele Versuche gemacht und dabei die zu solchen Untersuchungen nöthige Sorgfalt angewendet, wodurch ich denn zu Resultaten gekommen bin, die den allgemein angenommenen ganz entgegen sind. Die Resultate werden bei Untersuchung der verschiedenen Brennmaterialien mitgetheilt werden; hier wird bloß der angewendete Apparat und die Art der Beobachtung beschrieben werden.

Der Apparat, dessen ich mich bediente, besteht aus einem Cylinder von Weißblech A B C D (Fig. 51), in welchem noch ein zweiter Cylinder a b c d befindlich ist. Der Raum zwischen beiden Cylindern ist unten und oben verschlossen, oben aber mit zwei kurzen Röhren m und n versehen, durch welche zwei Thermometer mit langen Reservoiren, deren Röhren durch Körke gehen, hineingebracht werden. Mitten in dem, unten und oben offenen, innern Cylinder hängt ein halbkugelförmiges Gefäß von Eisendrath, welches das Brennmaterial aufzunehmen bestimmt ist. Die Wände des innern Cylinders sind mit Lampenruß überzogen und der ganze Apparat ruhet auf drei Beinen x y z.

252. Will man den Apparat gebrauchen, so füllt man den Raum zwischen den beiden Cylindern mit Wasser, bringt die Thermometer und den Rost M mit einer bestimmten Menge Brennmaterial, welches man anzündet, an seine Stelle. Ein Theil der strahlenden Wärme wird von der Wand a b c d des Gefäßes aufgenommen und geht in das Wasser über. Ist die Verbrennung beendigt, so beobachtet man mittelst der Thermometer die Temperatur der Flüssigkeit. Kennt man alsdann ihr Gewicht und das des Apparates, so kann man sehr leicht die Menge der absorbirten strahlenden Wärme finden. Um aber die ganze Menge der von dem Brennmaterial entwickelten strahlenden Wärme zu deduciren, muß man durchaus das Verhältniß zwischen dem ganzen Umfange der Kugel und dem des von dem Cylinder a b c d umschriebenen ringför-

migen Kreisabschnitte bestimmen; denn das Gefäß hat nur die Strahlen zwischen den geraden Linien, die den Mittelpunkt der Halbkugel M mit allen Punkten der obern und untern Peripherie des innern Cylinders vereinigen, aufgenommen und alle nach den offenen Kreisen a c und b d gerichtete Strahlen entweichen.

Dieses letztere Verhältniß ist leicht zu bestimmen. Man weiß, daß der Theil der Kugeloberfläche, der von irgend einem Theile eines Bogens erzeugt wird, proportional ist ihrer Projection nach der Rotationsaxe; daher verhält sich (Fig. 53) die absorbirende Oberfläche zur ganzen Kugel, wie e f zu g h.

An dem Apparate, dessen ich mich bediene, ist

$$a\,b = 0{,}2 \text{ Metres},$$
$$a\,c = 0{,}3 \text{ Metres},$$

woraus man ableitet

$$g\,h = 2\,M\,g = 2\,M\,b = 2\sqrt{M\,e^2 + b\,e} =$$
$$2\sqrt{(0{,}15)^2 + (0{,}10)^2} = 2\,(0{,}18 \text{ Metr.}) = 0{,}36 \text{ Metr.}$$
$$e\,f = 0{,}30.$$

Demnach verhält sich die ganze Strahlung zur absorbirten = 36 : 30 oder = 18 : 15; woraus folgt, daß man die Menge der erhaltenen Wärme durch $^{18}/_{15} = 1{,}2$ multipliciren müsse, um die ganze durch die Strahlung entwickelte Wärmemenge zu erhalten.

253. Um den durch die Wände des Gefäßes herbeigeführten Wärmeverlust zu vermeiden, muß man das Verfahren von Rumford anwenden und in das Gefäß Wasser thun, dessen Temperatur um so viel Grade unter der Temperatur der atmosphärischen Luft ist, als es am Ende des Versuchs darüber stehen wird.

254. Um Versuche mit flüssigen Brennmaterialien, wie z. B. mit Oel, zu machen, habe ich den Apparat Fig. 52 Taf. 3 angewendet. Der Apparat besteht aus einem Reservoir mit bestimmten Niveaus, durch welchen sieben in einem Kreise liegende Flammen unterhalten werden.

255. **Einheit der Wärme.** Ehe wir die Untersuchung

der verschiedenen Brennmaterialien beginnen, haben wir eine wichtige Uebereinkunft hinsichtlich der Art, die Wärme zu messen, zu treffen. Wir werden daher in Zukunft die Wärmemenge, die dazu erforderlich ist, ein Kilogramm Wasser um einen Grad des Celsiusschen Thermometers zu erwärmen, Einheit der Wärme nennen. Wir hätten auch jede andere Einheit annehmen können, geben aber dieser den Vorzug, da sie bequem und allgemein angenommen ist.

Siebentes Kapitel.

Von dem Holze.

256. Das Holz ist diejenige Materie, welche das feste Gerüst der Pflanzen bildet; jedoch wendet man den Namen vorzüglich auf die Stämme und Zweige der Bäume an. Die in unserm Klima wachsenden Hölzer bestehen aus concentrischen Lagen, von denen jede im Allgemeinen das Product des Wachsthums eines Jahres ist.

257. Die Hölzer bestehen dem Wesentlichen nach aus Fasern, einer Substanz, deren Eigenschaften bei allen Hölzern gleich sind. Außerdem enthalten sie, nach ihrer Beschaffenheit, Trockniß, ihrem längern oder kürzern Aufenthalt in der Luft oder im Wasser, variabele Mengen von Salzen, Farbestoffen, Harzen, Wasser ꝛc.; aber alle trockne Hölzer enthalten wenigstens 0,95 Fasern.

258. In welcher Jahreszeit der Einschlag der Hölzer am zweckmäßigsten geschieht, darüber lassen sich kaum allgemeine Vorschriften geben, obgleich die beste Schlagezeit überhaupt die ist, in welcher der vorjährige Saft schon zu Holz geworden und der neue noch flüssig ist und sich noch nicht verdickt hat. In moorigen und bruchigen Gegenden müssen ohne Wahl die Wintermonate zum Einschlag genommen werden; beim Laubholz wählt man die ersten Frühlingsmonate, März, April, auch wol noch den Mai, wenn der Saft anfängt in das Holz

zu schießen und Laub zu treiben. Wahrscheinlich geschieht dies (wenigstens bei den Erlen und Birken) vorzüglich deshalb, damit die junge Pflanze besser wieder aus der Wurzel ausschlagen kann; bei den Eichen aber zum Theil deshalb, um die im Mai sich leichter lösende Rinde für die Gärbereien zu gewinnen. Beim Nadelholze nimmt man die Wintermonate Januar, Februar und März, ehe der Saft in die Bäume tritt, um nicht so leicht zum Stocken des Holzes Anlaß zu geben. Zwar kann in den Sommermonaten auch noch Einschlag stattfinden, indeß trocknet das Holz dann schwerer aus, obgleich die Kohlen aus diesem Holze sehr derb und fester, als die aus dem Winterholze, ausfallen. Die in den Herbstmonaten eingeschlagenen Hölzer sind wegen der verdickten Säfte dem Stocken zu leicht ausgesetzt, weshalb der Einschlag dann nicht füglich stattfinden kann. Die klimatische Beschaffenheit, die Witterung des Jahres, die Beschaffenheit des Bodens und des Holzes, vorzüglich die Lage des Forstes, können den Einschlag in den Sommermonaten oft rathsamer machen, als in den Wintermonaten; indeß ist es eine allgemeine Regel, daß das Holz um so längere Zeit zum Austrocknen nöthig hat, je später im Jahre es geschlagen ist.

259. Wenn vollkommen trocknes Holz in ein ungeheiztes Zimmer gelegt wird, so absorbirt es in einem Jahre zehn Procent seines Gewichts Wasser. Marcus Bull, dem wir dieses Resultat verdanken, hat mit 46 verschiedenen Holzarten Versuche angestellt und von allen dasselbe Resultat erhalten. In trocknern Zeiten betrug die Absorption auch nur 8 Procent. Demnach ist also die Feuchtigkeitsmenge, welche die trocknen Hölzer absorbiren können, ganz unabhängig von ihrer Beschaffenheit und Dichtigkeit.

Die grünen Hölzer enthalten sehr ungleiche Wassermengen. Nach den Versuchen von Marcus Bull verlieren 100 Theile nassen Holzes des Wallnußbaums durch Trocknen 37,5, der weißen Eiche 41, des Ahorns 48 Procent. Es scheint demnach, daß die Hölzer um so mehr Wasser enthalten, je weniger Dichtigkeit sie besitzen.

Im Durchschnitte kann man annehmen, daß die in den grünen Hölzern befindliche Wassermenge 42, und die in denen, welche 8 bis 12 Monate in der Luft getrocknet worden sind, vorhandene 25 Procent betrage.

260. Die Holzarten, welche in Deutschland und in den angränzenden Ländern gewöhnlich als Brennmaterialien, theils unmittelbar, theils im verkohlten Zustande angewendet werden, sind: die Kiefer, die Fichte, die Tanne, der Lerchenbaum, die Eiche, die Buche, die Erle, die Birke, die Linde, die Pappel, die Weide, die Rüster und die Kastanie. Theils nach der Bekleidung im Sommer, theils nach den resinösen Säften des Holzes, pflegt man die Holzarten in Nadelholz und in Laubholz, und nach der schweren oder leichtern Entzündbarkeit des Holzes und der daraus erzeugten Kohlen, in hartes und in weiches Holz einzutheilen. Unter den angeführten Holzarten gehören die Kiefer, die Tanne, die Fichte und der Lerchenbaum zum Nadelholz, und die Nadelhölzer, so wie die Linde, die Weide und die Pappel zum weichen Holze.

Wir wollen die oben angeführten Holzarten etwas näher betrachten [1]).

Die Kiefer, die Föhre oder der Kienbaum (Pinus sylvestris), ist unter dem weichen Holze das festeste und giebt die härtesten Kohlen. Sie wächst in todtem Sande, gedeiht aber in Gebirgsgegenden, die wenig Dammerde zu ihrer Bedeckung haben, eben so wenig, als in feuchtem und schweren Boden. Ihr Stamm wird 80 bis 100 Fuß hoch, 3 Fuß und darüber im Durchmesser stark. Sie ist fetter und kieniger oder resinöser, als andere Nadelhölzer. Wegen ihrer starken Pfahlwurzel hat sie vom Windbruche weniger zu leiden, besitzt aber in der Kieferraupe und am Borkenkäfer, besonders an der erstern, große Feinde. In geschlossenem Stande kann sie in 140 Jahren ihre größte Vollkommenheit erreichen, ist aber in einem Zeitraume von 80 bis 100 Jahren schlagbar.

---

[1]) Zusatz des Uebersetzers. H.

Die Fichte oder Rothtanne (Pinus abies, Linn.), in einigen Gegenden, wie z. B. am Harz, auch Tanne genannt, treibt keine starke Pfahlwurzel, und ist daher dem Windbruche sehr ausgesetzt, hat auch die Kieferraupe und den Borkenkäfer, besonders den letztern, zu Feinden, welche ihr deshalb noch nachtheiliger sind, weil das Holz leichter stockt und fault, als das der Kiefer. Sie erreicht in 150 Jahren ihre größte Vollkommenheit, ist aber in 70 bis 80 Jahren schon schlagbar. Die beste Nutzungszeit fällt in den Zeitraum vom 100sten bis 150sten Jahre. Auf gutem Boden tritt die Nutzungszeit früher ein, und sie kann schon nach 60 Jahren gehauen werden. Auf dürrem Sande kommt sie nicht gut fort, sondern zieht den festern und feuchten Boden vor, obgleich sie auch in Gebirgen wächst. Sie kann eine Höhe von 150 Fuß bei einem Durchmesser von 5 Fuß und darüber erlangen.

Die Tanne, Edeltanne, Silbertanne, Weißtanne (Pinus picea, Linn.), wächst im Gebirge, so wie in den Niederungen, auf nicht zu fettem und nicht zu nassem Boden, und bedarf zu ihrer vollkommenen Ausbildung ein Alter von 80 bis 100 Jahren, wächst dabei aber schnell und ist schon in einem Zeitraum von 60 Jahren schlagbar. Das Holz ist fester als das der Fichte, und dem Faulen und Stocken weniger ausgesetzt. Der Baum erreicht ein Alter von 400 Jahren.

Der Lerchenbaum oder die Lehre (Pinus larix) verliert im Herbst die Nadeln, wächst außerordentlich schnell, und ist in 50 Jahren schon schlagbar. Der Baum verlangt einen guten, nicht sandigen, aber auch nicht fettigen, kalten oder feuchten Boden, und kommt in den nördlichen Gegenden nicht gut fort. Seine größte Vollkommenheit erreicht er in 80 bis 90 Jahre und dauert darin über 200 Jahre.

Die Eiche (Quercus robur) braucht zu ihrer völligen Ausbildung ein Alter von 200 bis 250 Jahren, wächst aber in den ersten Jahren sehr schnell, so daß sie schon in 50 bis 60 Jahren zu Brenn- und Kohlenholz eingeschlagen werden

kann. Ihr Holz ist sehr fest und hart, weshalb sie auch die festesten Kohlen giebt. Sie kann über 600 Jahre alt werden, erfordert aber einen guten, hügeligen, nicht zu trocknen Boden.

Die Rothbuche (Fagus sylvatica) sowol als die Weißbuche (Carpinus betulus), verlangen einen guten, nicht nassen, hügeligen Boden, und erreichen in einem Alter von 120 bis 140 Jahren ihre völlige Ausbildung, weshalb sie auch einen 120 jährigen Turnus zum Einschlagen erfordern. Sie geben ein derbes festes Holz und vortreffliche Kohlen.

Die Rüster oder Ulme, die rauhe sowol, als die glatte (Ulmus sativa, Ulmus campestris), erfordern einen guten und feuchten Boden. Sie geben in einem Alter von 80 Jahren das schönste, und in 20 bis 30 Jahren ein gutes Brenn- und Kohlenholz, weshalb der stärkere Anbau dieses nutzbaren Baumes sehr zu wünschen wäre. Holz und Kohlen sind von vorzüglicher Güte.

Die Erle (Betula alnus), auch Eller genannt, wächst jederzeit auf feuchtem Boden in Brüchen und an den Ufern der Bäche und Flüsse. Sie schlägt nach dem Abhauen sehr schnell wieder aus der Wurzel aus, ist alle 18 bis 20 Jahre schlagbar und giebt ein gutes Brenn- und Kohlenholz.

Die Birke erreicht in 40 Jahren eine Höhe von 50 bis 60 Fuß, kann jedoch alle 20 Jahre eingeschlagen werden, und giebt ein gutes Holz und vortreffliche Kohlen. Sie erfordert einen lockern, etwas feuchten Boden und sonnige Plätze, weshalb sie in tiefem Walde nicht gedeiht.

Die Linde, die Pappel und die Weide geben schlechtes Brenn- und Kohlenholz, weshalb man sie nur im Nothfalle anwendet. Die Kastanie, welche nur in den südlichen europäischen Gegenden wächst, giebt eine ganz gute Kohle und wird in Italien sehr stark als Kohlenholz benutzt [1]).

---

[1]) Wer sich näher über die obigen und andern Bäume unterrichten will, den verweise ich auf: Bechstein's Forst-Botanik. 4te Ausg. Erfurt und Gotha. 1821. H.

261. Nasses Holz giebt weit weniger Wärme als trocknes, 1) weil das Wasser, welches kein brennbarer Körper ist, keine Wärme entwickeln kann; 2) weil diese Flüssigkeit, um sich in Dämpfe zu verwandeln, eine bedeutende Menge Wärme absorbirt. Graf Rumford war der Erste, welcher die Aufmerksamkeit auf den unvortheilhaften Gebrauch des nassen Holzes gelenkt hat.

Es ist so vortheilhaft, trocknes Holz anzuwenden, daß man sich bei einigen Fabriken, z. B. in den Glas- und Porzelan-Fabriken, nicht mit ganz lufttrockenem Holze begnügt, sondern es sogar in eigenen Oefen trocknet.

262. Producte der Verbrennung. Die von der Verbrennung des Holzes erfolgenden Producte bestehen lediglich aus Wasserdämpfen und aus Kohlensäure; allein wenn die Verbrennung nicht vollkommen ist, so entwickelt sich Rauch, der hauptsächlich aus Wasser, Essigsäure, flüchtigem empyreumatischen Oele und aus einer dem Theer ähnlichen Materie besteht. Von der Essigsäure rührt der Reiz her, den der Rauch den Augen verursacht.

Die Kohlensäure ist ein farb- und geruchloses Gas, weit schwerer als die Luft, unverbrennlich und auch die Verbrennung nicht unterhaltend. Während der Verbrennung erhebt sie sich wegen der hohen Temperatur, die sie besitzt, in der Atmosphäre.

263. Heizvermögen. Da die Hölzer alle, dem Wesentlichen nach, aus faserigen Theilen bestehen, deren Bestandtheile unveränderlich sind, so begreift man leicht, daß, wenn alle Hölzer gleichen Trockengrad haben, alle gleiche Wärmemengen entwickeln müßten. Es könnten dann nur sehr geringe Differenzen stattfinden, die von den ungleichen Mengen unverbrennlicher Materien herrühren, die die Hölzer enthalten und die ihre Asche bildet.

264. Diese Mengen sind sehr gering, und folglich sind es die Differenzen auch, wie man leicht aus der folgenden

Tabelle ersieht, die aus einem Aufsatz Berthier's im 32sten Bande der Annales de Chimie entnommen ist [1]).

Aschenmengen,

welche verschiedene Hölzer und brennbare Pflanzen enthalten.

Eichenholz	0,0250	Weißer Maulbeerbaum	0,0160
Eichenrinde	0,0600	Birkenholz	0,0100
Lindenholz	0,0500	Goldner Regen	0,0125
Chinarinde (Ste Lucie)	0,0160	Tannenholz	0,0083
Hirschholder	0,0164	Stroh von Getraiden	0,0440
Judasbaum	0,0170	Kartoffelkraut	0,1500
Haselstaude	0,0157		

265. Wir müssen jedoch bemerken, daß die von einer und derselben Holzart erfolgenden Aschenmengen, nach der Beschaffenheit des Erdreichs, in welcher sie gewachsen, nach der Lage, dem Alter und selbst nach den verschiedenen Theilen eines Individuums verschieden ist. Im Allgemeinen geben die Hölzer weniger Asche, als die Gräser, die Nadelhölzer weniger, als die Laubhölzer, das Stammholz weniger, als das Zackenholz, dieses weniger, als die Blätter und Rinde, das Holz weniger, als der Splint.

266. Rumford, nach ihm Hassenfratz und neuerlich Marcus Bull, haben sich viel mit der Bestimmung der Wärmemengen, die aus der Verbrennung verschiedener Holzarten entstehen, beschäftigt. Rumford hat sich dabei des, nach ihm benannten Apparats bedient, Hassenfratz des Eiscalorimeters, und Bull des eben (243) beschriebenen Apparates. Alle haben ihre Versuche mit gleichen Gewichtsmengen getrockneten Holzes angestellt.

Es folgen nun die wichtigsten von Rumford erhaltenen Resultate. Die Mengen geschmolzenes Eis haben wir in Einheiten der Wärme verwandelt (265).

---

[1]) Deutsch in Karsten's Archiv Bd. XIV. S. 419. H.

Tabelle über die Wärmemenge, die durch die Verbrennung eines Kilogramms verschiedener Holzarten entwickelt worden ist.

Holzarten.	Zustand, in welchem die Holzarten zu den Versuchen verwendet sind.	Anzahl der entwickelten Wärmeeinheiten.
Lindenholz	Vier Jahr lang getrocknetes Tischlerholz	3460
Dergleichen.....	Stark in einem Ofen getrocknetes Holz	3960
Buchenholz.....	Vier Jahr lang getrocknet.....	3375
Dergleichen.....	Stark in einem Ofen getrocknet.....	3630
Ulmenholz.....	Vier bis fünf Jahr lang getrocknet.....	3037
Dergleichen.....	Stark in einem Ofen getrocknet.....	3450
Eichenholz	Gewöhnliches Brennholz, in Spänen von mittlerer Größe.	2550
Dergleichen.....	Sehr lufttrockene dünne Späne.....	2925
Eschenholz.....	Gewöhnliches, trocknes Tischlerholz.....	3075
Dergleichen. ...	Stark in einem Ofen getrocknet.....	3525
Ahornholz.....	Holz in demselben Jahre geschlagen und stark in einem Ofen getrocknet.	3600
Vogelbeerbaumholz.	In einem Ofen getrocknet.....	3600
Vogelkirschenbaumholz.	Trocknes Tischlerholz	3375
Dergleichen.....	In einem Ofen getrocknet	3675
Fichtenholz	Gewöhnliches trocknes Tischlerholz	3037
Dergleichen.....	In sehr lufttrocknen Spänen.....	3375
Dergleichen.....	Stark in einem Ofen getrocknet.....	3750
Pappelbaumholz	Gewöhnliches trocknes Tischlerholz.....	3460
Dergleichen.....	Stark in einem Ofen getrocknet.....	3712
Hagenbuchenholz.	Gewöhnliches trocknes Tischlerholz.....	3187
Eichenholz.....	Trocken.....	3300

267. Nimmt man die von dem trocknen Holze entwickelte Wärme, so findet man, daß 3300 und 3900 die äußersten Gränzen sind, und nimmt man die Mittelzahl, so ist 3600 die durch ein Kilogramm trocknes Holz entwickelte Wärmemenge.

Da die Versuche Rumfords oft wiederholt und mit großer Sorgfalt angestellt worden sind, so darf man die Zahl 3600 als der Wahrheit sehr nahe stehend betrachten. Uebrigens ist sie etwas zu gering, denn der Apparat ließ etwas strahlende Wärme entweichen (240).

268. Hassenfratz hat mittelst des Eis-Calorimeters Versuche mit 28 Holzarten angestellt. Die äußersten Resultate, die er erhielt, bestehen darin, daß ein Kilogramm Holz 32 bis 49 Kilogramme Eis schmelzen kann. Da nun ein Kilogramm Eis, indem es schmilzt, eine Wärmemenge absorbirt, die fähig ist, 1 Kilogr. Wasser von 0° zu 75° zu erwärmen, d. h. da sie 75 Wärme-Einheiten absorbirt, so sind die äußersten Gränzen der durch die Verbrennung von 1 Kilogr. Holz entwickelten Wärme, $32 \times 75 = 2400$ und $49 \times 75 = 3675$.

Die erstere Zahl ist sicher weit zu gering, die zweite nähert sich viel dem von Rumford erhaltenen mittlern Resultate.

269. Clément nimmt die Zahl 3666 als den Wärmestoff-Werth des vollkommen trocknen Holzes an. Jedoch scheint er diese Zahl durch Zusammenstellung und nicht durch directe Versuche gefunden zu haben, denn mittelst der erstern gelangt man genau zu derselben Zahl. Es bestehen 100 Theile Holz aus 52 Theilen Kohlen und aus Sauer- und Wasserstoff genau in den Verhältnissen, um Wasser zu bilden, nämlich aus 48 Theilen. Nimmt man nun an, daß die Kohle allein dazu beiträgt, die Wärme hervorzubringen, und nach Clément 1 Kilogr. derselben 7050 Wärme-Einheiten giebt; so wird das Holz $52 \times 70{,}5 = 3666$ Einheiten geben.

270. Marcus Bull hat eine große Menge von Versuchen angestellt, um, mittelst des weiter oben beschriebenen Appara-

tes, die von verschiedenen Holzarten entwickelten relativen Wärmemengen zu bestimmen. Das Verfahren bestand, wie wir schon bemerkt haben, darin, zwischen der Luft des innern und des äußern Zimmers eine Differenz der Temperatur herzustellen, die man erhält, indem man ein gewisses Brennmaterial in dem innern Zimmer verbrennt. Die Verbrennung war um so lebhafter, je weniger Wärme das Brennmaterial entwickelte; auch konnte sie nach Belieben regulirt werden. Bei gleichen Mengen von Brennmaterial ist es klar, daß ihr Heizvermögen der Zeit proportional sei, während welcher die Differenz der Temperatur erhalten wird.

Die Methode giebt nicht die absoluten Werthe der durch die verschiedenen Brennmaterialien entwickelten Wärme, sondern nur die Verhältnisse dieser Mengen. Zum Vergleichungspunkte hat Bull den Nußbaum mit schuppiger Rinde angenommen, indem dies das dichteste von allen verglichenen Hölzern ist, und zugleich bei gleichen Voluminibus die meiste Wärme giebt.

Die von Herrn Bull erhaltenen Resultate sind in der unten folgenden Tafel aufgezeichnet.

Die beiden ersten Columnen derselben bedürfen keiner weitern Erklärung.

Die dritte, mit der Ueberschrift, Dichtigkeit der Hölzer, enthält Zahlen, welche die Resultate eines eigenthümlichen Verfahrens sind. Die gewöhnlich angewendete Methode besteht darin, die Hölzer rasch in ein ganz voll Wasser angefülltes Gefäß zu tauchen, das ausgetretene Wasser und das Holz nach seinem Eintauchen zu wägen, um das Gewicht der absorbirten Flüssigkeit zu bestimmen, welche man zum erstern hinzufügt. Marcus Bull sieht diese Methode als unsicher an, indem das Holz durch das Wasser aufquillt und um ein Bedeutendes leichter wird, woraus eine zu geringe Dichtigkeit folgt. Um die Dichtigkeit der Hölzer zu bestimmen und zugleich das Eindringen des Wassers in seine Poren zu verhindern, suchte Bull einen Körper, dessen Dichtigkeit genau wie

die des Wassers bei 60° Fahrenheit ist, und der einen Ueberzug um das Holz bilden konnte. Er erhielt ihn durch ein Gemenge von Wachs und Harz, deren Dichtigkeiten = 0,967 und = 1,079 waren. Die alsdann vollkommen getrockneten Hölzer wurden gewogen, mit dem Firniß überzogen und darauf gewogen. Der Ueberzug hatte offenbar gar keinen Einfluß auf den Gewichtsverlust im Wasser, seine Dicke mogte sein, welche sie wollte.

Die Bestimmung des Gewichts eines Klafters trocknen Holzes von verschiedener Art, hatte sehr große Schwierigkeiten; Folgendes ist die von Herrn Bull angewandte Methode.

Man maaß ein halbes Klafter (64 Kubikfuß) Holz von der weißen Eiche (Quercus alba), dessen Gewicht gleich 1928 Pfunden Avoir du poids-Gewicht [1]) gefunden wurde. Die Holzscheite waren von mittlerer Größe und während des vorhergehenden Winters geschlagen. Man wählte eine hinlängliche Menge von Scheiten verschiedenen Volums, und schnitt von jedem derselben ein Stück von 12 Zoll Länge ab, um $^1/_{64}$ des Ganzen zu erhalten. Die Stücken Holz wurden alsdann in ein Maaß von 12 Zoll Quadrat gelegt, indem man einen Sechit an die Stelle des andern von gleichem Gewicht legt, bis daß man eine den gewöhnlichen Holzhaufen ähnliche Zusammenstellung erhält.

Die Holzstücke wurden alsdann in einem Ofen vollkommen getrocknet, und ihr fester Inhalt wurde durch die Wassermenge bestimmt, welche sie verdrängen. Um dieses Experiment zu machen, bedient man sich einer zinnernen Büchse, die 15 Zoll tief und 6 Zoll weit ist und die in einen Trichter gestellt wird, unter welchem ein Gefäß steht, das das verdrängte Wasser auffängt. Die Stückchen Holz wurden einzeln genommen; in eins von ihren Enden befestigte man einen kleinen Pfriemen, mittelst dessen man sie leicht und schnell in das Wasser tauchen konnte.

---

[1]) Ein Pfund Avoir du poids-Gewicht = 0,453 Kilogr.

Das verdrängte Wasser, welches in einem langen, engen und mit einem beweglichen Maaßstabe versehenen Gefäß gemessen wurde, fand sich = 965 Kubikzollen, demnach ist das wirkliche Volum des in einem Klafter enthaltenen Holzes = 965 × 128 = 123520 Kubikzollen oder = 71,48 Kubikfuß.

Die Zwischenräume zwischen den Holzschnitten sind daher = 128 — 71,48 = 56,52. Kennt man demnach das Volum eines Klafters Holz, so erhält man das Gewicht eines Klafters von jeder Holzart, indem man dieses gemeinschaftliche Volum mit der Dichtigkeit jeder Holzart, und mit 62,49, dem Gewicht eines Kubikfußes Wasser, multiplicirt.

Die fünfte Kolumne enthält die Kohlenmenge, welche 100 Theile trocknes Holz geben. Das Verfahren, welches man hierzu gewöhnlich anwendet, besteht darin, daß man das Holz in einem mit Sand angefüllten Tiegel calcinirte. Herr Bull sieht sie als unsicher an, weil der Sand in die Risse der Kohlen, und die Luft bis zu denselben dringen und einen Theil derselben verbrennen kann. Die von ihm angewendete Methode bestand darin, das Holz so zu spalten, daß es scharfe Kanten behält, damit man den geringsten Verlust bemerken kann, und es in einen Tiegel zu thun, in welchem es von einem Zoll dicken Kohlenpulver umgeben und von einer drei Zoll dicken Lage desselben bedeckt ist. Der Tiegel wurde von einem andern leeren und umgestürzten bedeckt, in welchem eine kleine Oeffnung befindlich war. Das Ganze wurde zwei Stunden lang dem Feuer eines Windofens ausgesetzt.

Die sechste Kolumne enthält das specifische Gewicht der aus den verschiedenen Holzarten erzeugten Kohlen. Diese Dichtigkeiten wurden auf dieselbe Weise, wie die des Holzes, bestimmt.

Die siebente Kolumne enthält das Gewicht eines Buschels Kohlen verschiedener Art. Das Buschel ist ein in den Vereinigten Staaten allgemein angewendetes Gemäß, welches 2750,4 englische Kubikzolle enthält. Bull hat die Mittel, durch welche er die Zahlen dieser Kolumnen bestimmt hat, und

von denen die meisten nicht direkt erhalten werden konnten, nicht angegeben. Wahrscheinlich wird er ein Buschel von einer gewissen Kohlenart gewogen, und das Gewicht, durch das Verhältniß der Dichtigkeit einer andern Kohlenart zu der erstern, multiplicirt haben, um das Gewicht der letztern zu erhalten. Die Richtigkeit dieser Behauptung läßt sich leicht beweisen: Ein Buschel von den Kohlen des Juglans squamosa oder Nußbaums mit schuppiger Rinde, wiegt 35,89 und die Dichtigkeit dieser Kohle beträgt 625. Die Dichtigkeit der Büchenkohlen ist 518, daher müßte ein Buschel dieser letztern $35{,}89 \times \frac{518}{625} = 27{,}23$ wiegen, und die Tabelle giebt 27,28 an.

Die achte Kolumne enthält die Anzahl von Pfunden Kohle, die ein Klafter Holz giebt. Die Zahlen dieser Kolumne sind das Produkt der korrespondirenden Zahlen in der vierten und fünften Columne, dividirt durch 100.

Die neunte enthält die Anzahl von Buschels Kohlen, die ein Klafter Holz giebt. Man erhält diese Zahlen, indem man die der vorhergehenden Kolumne durch das Gewicht eines Buschels Kohlen dividirt.

Die zehnte enthält die Zeiten, in welchen die Differenz der Temperatur beider Zimmer, durch ein Pfund trocknes Holz, erhalten worden ist. Diese Zahlen sind unmittelbare Resultate der Beobachtung und sind der Heizkraft der Hölzer proportional.

Die eilfte und letzte Kolumne endlich enthält die relativen Heizkräfte eines Klafters der verschiedenen Holzarten. Die Wärmemenge, die ein Klafter Holz entwickeln kann, steht offenbar im Verhältnisse mit der in der zehnten Kolumne eingezeichneten Zeit, multiplicirt mit dem Gewichte eines Klafters. Wenn man diese Produkte durch das dividirt, welches dem Holze von dem Nußbaum mit schuppiger Rinde korrespondirt und den Quotienten mit 100 multiplicirt, so erhält man die Zahlen dieser letztern Reihe. Wir wollen die Berechnung an dem Buchenholz machen.

Die dem Nußbaumholz korrespondirende Zahl ist 4469 × 6 Stunden 40 Minuten = 4469 × 400 Minuten = 1787600.

Die dem Buchenholz correspondirende Zahl ist = 3236 × 6 Stunden = 3236 × 360 = 1164960.

Die relative Zahl ist = $\frac{1164960}{1787600}$ = 65.

Tabelle über die durch die Verbrennung verschiedener Holzarten daraus erzeugten Kohlen,

Trivial-Namen der Holzarten.	Botanische Namen.	Trocknes Holz: Specifisches Gewicht	Trocknes Holz: Gewicht eines Klafters in Avoir du poids.
Nußbaum, mit schuppiger Rinde...	Juglans squamosa....	1000	4469
— mit Stacheln.....	— porcinae.....	949	4241
— mit gezackten Blättern.	— lacinata.....	829	3705
— aschfarbener.....	— cathartica....	567	2534
— schwarzer.....	— nigra.....	681	3044
Eiche, weiße Kastanien-.....	Quercus-primus pal.	885	3955
— — amerikanische.....	— alba.....	855	3821
— Pfahl-.....	— obtusiloba..	775	3464
— Catesben-.....	— Catesbei.....	747	3339
— Sumpf-.....	— palustris.....	747	3339
— Banisterie-.....	— banistery....	728	3254
— rothe, Scharlacheiche.....	— rubra.....	728	3254
— Eisen-.....	— ferruginea...	694	3102
— Felsen-Kastanien-.....	— prin.montic.	678	3030
— gelbe Kastanien-.....	— prin. acum.	653	2919
— sichelförmige.....	— falcata.....	548	2449
Esche, amerikanische.....	Fraxinus americana	772	3450
Buche, Roth-.....	Fagus sylvatica.....	724	3236
Ulme, amerikanische.....	Ulmas americana....	580	2592
Ahorn, Zucker-.....	Acer saccharinum...	644	2878
— Silber-.....	— rubrum.....	597	2668
— Berg-.....	— pseudo-platan.	535	2391
Birke, mit Pappelbaumblättern....	Betula populifolia....	530	2369
— zähe.....	— lenta.....	697	3115
Kastanie, amerikanische.....	Castanea vesca.....	522	2333
Stechpalme, amerikanische.....	Ilex opaca.....	602	2601
Buche, amerikanische.....	Carpinus americana	720	3218
Fichte, gelbe.....	Pinus mitis.....	551	2463
— Zwerg-.....	— inops.....	478	2137
Weihrauchskiefer.....	— rigida.....	426	1904
Weymouthskiefer.....	— strobus.....	418	1868
Kirschbaum, virginischer.....	Cerasus virginiana..	597	2668
Pappel, italienische.....	Populus dilatata.....	397	1774
Apfelbaum, gemeiner.....	Pyrus malus.....	697	3115
Wachholderbaum, virginischer.....	Juniperus virginiana	565	2525
Hartriegel, nordamerikanischer.....	Cornus Floridae.....	815	3643
Persimonpflaumenbaum, virginisch.	Diospyros virginiana	711	3178
Tulpenbaum, virginischer.....	Lyriodendron tulipif.	563	2516
Sassafrasbaum.....	Laurus sassafras.....	618	2762
Aronie, baumförmige.....	Aronia arborea.....	887	3964
Nissa, Wald-.....	Nissa sylvatica.....	703	3142
Zauberhaselstrauch, virginischer.....	Hamamelis Virgin...	784	3505
Kalmia, großblättrige.....	Kalmia latifolia.....	663	2963
Bieberbaum, großblumiger.....	Magnoliagrandiflora	605	2704
Heidelbeerstrauch, doldentraubiger.	Vaccinium corymb.	752	3361
Storaxbaum.....	Liquidambar stracifl.	634	2834

hervorgebrachten Wärmemengen, über ihre Dichtigkeit und die von Marcus Bull.

Trockne Kohlen.					Zeit, während welcher die Temperatur des Zimmers durch das Verbrennen von einem Pfunde jedes Holzes eine Wärme v. 10° behielt.	Specifische Menge jeder Substanz, im Vergleich mit d. Holze des Juglans squamosa.
Aus 100 Gewichtstheilen trocknen Holzes erhaltene Menge.	Specifisches Gewicht	In einem Buschel enthaltene Menge von Pfunden.	Ein Klafter trocknes Holz bringt hervor in Pfunden.	Ein Klafter trocknes Holz bringt hervor in Buscheln.		
					St. Min.	
26,22	625	35,89	1172	36	6, 40	100
25,22	637	33,52	1070	32	6, 40	95
22,90	509	26,78	848	32	6, 30	81
20,79	237	12,47	527	42	6, »	51
22,56	418	22,00	687	31	6, 20	65
22,76	481	25,31	900	36	6, 30	86
21,62	401	21,10	826	39	6, 20	81
21,50	437	22,99	745	32	6, 20	74
23,17	392	20,63	774	38	6, 30	73
22,22	436	22,94	742	32	6, 20	71
23,80	387	20,36	774	38	6, 30	71
22,43	400	21,05	630	30	6, 20	69
22,37	447	23,52	694	29	6, 20	66
20,86	436	22,94	632	28	6, »	61
21,60	295	15,52	631	41	6, 10	60
22,95	362	19,05	562	30	6, 20	52
25,74	547	28,78	888	31	6, 40	77
19,62	518	27,26	635	23	6, »	65
24,85	357	18,79	644	34	6, 40	58
21,43	431	22,68	617	27	6, 10	60
20,64	370	19,47	551	28	6, »	54
23,60	374	19,68	564	29	6, 30	52
19,00	364	19,15	450	24	6, »	48
19,40	428	22,52	604	27	6, »	63
25,29	379	19,94	590	30	6, 40	52
22,77	374	19,68	613	31	6, 20	57
19,00	455	23,94	611	25	6, »	65
23,75	333	17,52	585	33	6, 30	54
24,88	385	20,26	532	26	6, 40	48
26,76	298	15,68	510	33	6, 40	43
24,35	293	15,42	455	30	6, 40	42
21,70	411	21,63	479	27	6, 10	55
25,00	245	12,89	444	34	6, 40	40
25,00	445	23,41	779	33	6, 40	70
24,72	238	12,52	624	50	6, 40	56
21,00	550	28,94	765	26	6, 10	95
23,44	469	24,68	745	30	6, 30	69
21,81	383	20,15	549	27	6, 10	52
22,58	427	22,47	624	28	6, 20	59
22,62	594	31,26	897	29	6, 20	84
22,16	400	21,05	696	33	6, 20	67
21,40	368	19,36	750	39	6, 10	72
24,02	457	24,05	712	30	6, 40	66
21,59	406	21,36	584	27	6, 10	56
23,30	505	26,57	793	29	6, 30	73
19,69	413	21,73	558	26	6, »	57

271. Aus der Ansicht der vorhergehenden Tabelle geht hervor, daß die gleich trocknen Hölzer nicht, wie wir angenommen haben, genau gleiche Wärmemengen geben, denn diese wechseln von 6 zu 6,4; auch nicht gleiche Kohlenmengen, indem diese von 19 bis 26,22 variiren. Man muß hieraus schließen, daß die Hölzer nicht alle gleiche Fasern-Mengen enthalten. Es ist zu bemerken, daß die Wärmemengen den Kohlenmengen sichtlich proportional sind.

272. Da jedoch die Differenzen gering sind, und ein Theil derselben von fehlerhaften Beobachtungen herrühren kann, so können wir im Allgemeinen, und ohne wesentliche Irrthümer, für die Praxis annehmen, daß die trocknen Hölzer alle gleiche Heizkraft haben. Wir nehmen an:

1) daß der Wärmestoffwerth von einem Kilogr. Holz, welches durch künstliche Mittel vollkommen trocken gemacht worden, = ... 3500 Einheiten;

2) daß der Wärmestoffwerth eines Kilogr. 10 bis 12 Monate nach dem Einschlag, welches gewöhnlich 20 bis 25 Procent Wasser enthält = ... 2600 Einheiten sei.

273. Was nun der Wärmestoffwerth der nach dem Volum geschätzten Hölzer betrifft, so können wir ihn leicht aus der vorhergehenden Tabelle ableiten, denn es ist sehr unwahrscheinlich, daß die in Europa und Amerika wachsenden Hölzer gleicher Art eine sehr verschiedene Dichtigkeit haben.

Das amerikanische Klafter enthält 128 Kubikfuß. Ein englischer Kubikfuß ist = 0,02831 Kubik-Meter; folglich ist das Klafter = 0,02831 Kub. Metr. × 128 = 3, 62 Kub. Metr. Da nun das französische Klafter 4 Kubikmeter enthält, so ist das französische gleich dem amerikanischen Klafter, multiplizirt mit $\frac{4}{3,62} = 1, 10$. Man kann hiernach die folgende Tabelle bilden. Multiplicirt man die Zahlen der zweiten Kolumne mit $^4/_3$, so erhält man das approximative Gewicht eines Klafters Holz, von jährigem Einschlage, welches, wie wir schon gesehen haben, noch 25 Procent Wasser enthält.

Holzarten.	Gewicht eines Klafters trockn. Holzes in Kilogr.	Relativ. Werth der Heizkraft eines Klafters
Nußbaum, mit schuppiger Rinde	2212	100
Weiße Eiche	1956	86
Esche	1707	77
Rothbuche	1601	65
Ulme	1282	58
Birke	1172	48
Kastanienbaum	1153	52
Weißbuche	1592	65
Fichte	1218	54
Italienische Pappel	877	40

274. Diese Zahlen stimmen sehr mit mehrern mir mitgetheilten, und mit andern, in den Annales des Mines aufgezeichneten, Resultaten überein [1]).

275. Uebrigens kann man bei dem Gewicht eines und desselben Volums von Holze, nach der Art, wie es gemessen worden, nach der Größe der Scheite und ihrer Krümmung, so bedeutende Differenzen finden, daß man die Resultate in der vorhergehenden Tabelle nur als Annäherungen ansehen darf.

---

[1]) Nach den Angaben des Herrn Oberlandesforstmeisters, Ritter Hartig in Berlin (Versuche über das Verhältniß der Brennbarkeit der meisten deutschen Waldbaumhölzer. 1798.) wiegt ein Kubikfuß trockenes Holz:

Traubeneiche,	200jähriges	46	Pf.	22	Loth	Köllnisch Gew.
Stieleiche,	190	»	44	»	23	»
Buche,	120	»	39	»	2	»
Birke,	60	»	41	»	13	»
Edeltanne,	80	»	36	»	20	»
Kiefer,	100	»	36	»	10	»
	50	»	35	»	20	»
Ulme,	100	»	36	»	14	»
Fichte,	100	»	31	»	4	»
	60	»	29	»	25	»
Erle,	70	»	29	»	28	»

H.

276. Obgleich die Hölzer in vollkommen trocknem Zustande, bei gleichen Gewichtsmengen, wenig verschiedene Wärmemenge entwickeln, so veranlaßt doch ihre Structur, bei der Art ihrer Verbrennung, Verschiedenheiten, so daß sie nicht alle gleich brauchbar zu allen Arten von Arbeiten sind.

277. Die dichten Hölzer brennen nur an ihrer Oberfläche; die sich in das Innere fortpflanzende Wärme entwickelt brennbare Gase, welche im Anfang ganz verbrennen, und es bleibt bald nur eine große, dichte Kohle zurück, die langsam, und ohne Flamme, verbrennt.

278. Die leichten Hölzer verbrennen weit rascher, weil ihre Porosität der Luft leichtern Eingang erlaubt, und weil sie in der Wärme zerreißen. Der größte Theil der Kohle, welchen sie enthalten, verbrennt zu gleicher Zeit mit den brennbaren Gasen, und sie lassen nur wenig Kohle zurück. Auch geben diese Hölzer, fast während der ganzen Dauer ihrer Verbrennung, eine Flamme.

279. Diese Verschiedenheit zwischen den beiden Holzarten nimmt ab, je kleiner die Scheite werden, wovon die Ursach deutlich ist.

280. Aus dem Gesagten wird man leicht einsehen, warum man in Glashütten, Porzellanöfen, und selbst in den Töpferöfen, in denen man eine sehr hohe Temperatur und eine große und dauernde Flamme nöthig hat, stets weiche Hölzer verwendet, während man bei fast allen andern Anwendungen, zu welchen man eine geringere Temperatur nöthig hat, und wobei das Feuer in der Nähe wirken soll, harten Hölzern den Vorzug giebt.

281. Die Hölzer seien aber, von welcher Art sie wollen, so wird ihr Heizvermögen um so größer sein, als sie in kleinere Stücke getheilt sein werden, indem alsdann eine weit kleinere Luftmenge der Wirkung des Brennmaterials entgeht. Wirklich muß die Luft zuletzt immer in einer höhern Temperatur, als die Atmosphäre ist, entweichen, und man begreift leicht, daß, je kleiner die zur Verbrennung einer und derselben Menge von Materie erforderliche Luft ist, um so geringer

auch der Wärmeverlust durch die ausströmende Luft sein wird. Ohne jedoch aber die Kosten zu berücksichtigen, welche das wiederholte Spalten des Holzes verursacht, erlauben es auch manche Operationen nicht, zu kleines Holz zu gebrauchen, da mit solchem die Verbrennung zu rasch ist. Nur in Glasöfen, Porcellanöfen u. dergl. m. ist eine sehr rasche Verbrennung vortheilhaft, da sie stets eine sehr hohe Temperatur hervorbringt, und dazu muß man denn sehr klein gespaltenes Holz gebrauchen.

282. Strahlungs-Vermögen. In Beziehung auf die Menge der strahlenden Wärme, welche das Holz während seiner Verbrennung entwickelt, so habe ich gefunden, daß sie für verschiedene Hölzer verschieden ist, daß sie aber, wenn man die Hölzer in sehr kleinen Stücken verbrennt, fast constant sei. Bei einem Versuche mit Rothbuchenholz erhielt ich folgendes Resultat:

die Temperatur der Atmosphäre betrug 20°;

das in das Gefäß gebrachte Wasser hat eine Temperatur von 17,5°;

durch die Verbrennung von 97,5 Grammen Holz wurde sie auf 22,5° erhöht. Demnach hätte die von dem Wasser absorbirte Wärmemenge seine Masse um 5° erwärmt;

die Menge des in dem Apparate enthaltenen Wassers betrug 11,29 Kilogr.;

das Gewicht des Kastens 2,223 Kilogr.

Da nun die Wärmecapacität des Weißblechs 0,11 ist, so ist die Menge der durch das Gefäß absorbirten Wärme gleich der von 2,223 Kilogr. × 0,11 = 0,244 Kilogrammen Wasser, um 5° erwärmt, und folglich die Menge der von dem Apparate absorbirten Wärme = (11,291 Kilogr. + 0, 244 Kilogr.) 5° = 57,65 Wärmeeinheiten.

Oder nach dem (262) Gesagten ist die ganze Menge der Strahlung = 57,65 × 1,13 = 65,14 Einheiten.

Nach dem Artikel 283 müssen 1000 Grammen Holz durch ihre Verbrennung 2500 Wärmeeinheiten geben, die sich theils durch die Strahlung und theils durch den Luftstrom

verbreiten; 97,5 Gr. müssen daher 243,75 geben. Demnach verhält sich die durch die Strahlung zerstreuete Wärme zur überhaupt entwickelten Wärme = 65,14 : 243,76 = 1 : 3,74, oder annähernd = 1 : 4.

Die Menge der strahlenden Wärme verhält sich zu der mittelst des Luftstroms weggeführten, = 1 : 4 — 1 = 1 : 3.

Dieses Verhältniß ist weit beträchtlicher, als man es bis jetzt geglaubt hat; es ist aber auch weit größer, wenn das Holz in großen Massen verbrannt wird, so daß es zur Entstehung von großen Kohlen Veranlassung giebt, indem die strahlende Kraft der Kohlen bedeutender, als die der Flamme, ist, wie wir später sehen werden.

Achtes Kapitel.

Von der Holzkohle.

283. Die Holzkohle ist, wie ihr Name angiebt, eine Substanz, die nur den sich im Holze befindlichen Kohlenstoff enthält. Die Produkte der Verbrennung der vollkommen verkohlten Holzkohle bestehen lediglich aus Kohlensäure; allein da die Holzkohle fast stets eine gewisse Wasserstoffmenge enthält, so bildet sich alsdann eine correspondirende Quantität Wasserdämpfe. Die Kohle, der Verkohlungsprozeß, durch welchen sie erhalten ist, sei, welcher er wolle, behält die Holzstruktur, ist weit leichter, als das Holz, hat einen Klang und brennt, wenn sie rein ist, ohne Flamme. Hinsichtlich der übrigen Eigenschaften sind die Kohlen, nach der Art ihrer Gewinnung, nach der Beschaffenheit des Holzes, aus welchem sie dargestellt sind, verschieden: wir werden sie jedoch erst dann auseinandersetzen, wenn wir die verschiedenen Arten der Verkohlung beschrieben haben.

284. Verkohlungsmethoden. Im Allgemeinen geschieht das Kohlenbrennen nach zwei verschiedenen Prinzipien, nämlich entweder in einem verschlossenen Raume, durch eine

von außen angebrachte Hitze, d. h. durch trockne Destillation, oder in einem nur bis zu einem gewissen Grade verschlossenen Raum, worin man einen Theil des eingelegten Holzes verbrennen läßt, um mit der dadurch erzeugten Hitze das Uebrige in Kohle zu verwandeln. Die erstere Art wird die Verkohlung im Ofen, die letztere die Verkohlung in Meilern genannt [1]).

285. Könnte die Verkohlung im Großen ebenfalls in verschlossenen Gefäßen, und durch äußere Erhitzung geschehen, so würde man das möglichst größte Kohlenausbringen bewirken. Das zu der äußern Erhitzung erforderliche Brennmaterial würde aber die Vortheile des reichlichern Kohlenausbringens wieder absorbiren, weshalb man sich genöthigt sieht, die zum Verkohlen erforderliche Hitze durch das Verbrennen des Holzes selbst zu unterhalten. Nur bei den Theer- oder Pechöfen geschieht die Verkohlung des sehr harzigen Holzes durch äußere Hitze; indeß ist hierbei die Gewinnung der Kohle nur Nebensache, und die durch die Destillation zu erhaltenden Produkte müssen die Unkosten des zum Verbrennen anzuwendenden Materials tragen. Man hat zwar die Verkohlung des Holzes in Oefen auf mannichfaltige Art versucht; indeß mußte man das Holz doch selbst in Brand stecken, und es durch eigenes langsames Verbrennen verkohlen lassen, wobei man, gegen das gewöhnliche Verfahren, das Holz in regelmäßigen Haufen aufzuschichten, und dieses beim Anzünden mit einer beweglichen Decke von Erde u. s. f. zu versehen, soviel man weiß, noch keine ökonomischen Vortheile erreicht hat. Nur in den Fällen, wo es darauf ankommt, die Säure des Holzes (den Holzessig) und gelegentlich auch den Theer zu gewinnen, muß die Verkohlung in Oefen geschehen, aus denen die Dämpfe durch blecherne Röhren in Kühltonnen geleitet werden.

---

[1]) Dieses Kapitel hat sehr viel nothwendige Erweiterungen erhalten, wobei besonders die klassische Eisenhüttenkunde von Karsten, Bd. II. Abtheil. 2, benutzt worden ist. H.

Soviel Vorschläge bis jetzt auch über die Verkohlung des Holzes im Großen in Oefen gemacht worden sind, so scheinen die ökonomischen Vortheile doch mehr für die Verkohlung des Holzes in Haufen mit beweglichen Erddecken, oder in Meilern zu sprechen, weil das Holz in beiden Fällen langsam verbrennen muß, um sich zu verkohlen, und weil es in beiden Fällen gleich stark schwindet und dadurch zu hohlen Räumen Anlaß giebt, welche durch die beweglichen Decken der Meiler sogleich wieder ausgefüllt werden. Ein größeres Kohlenausbringen, als in einem vorsichtig dirigirten Meiler ist, nach den bis jetzt gemachten Erfahrungen, bei der Verkohlung in Oefen ohne äußere Hitze nicht zu erwarten, und der durch den Gewinn an Säure und Theer entstehende Vortheil kann nicht überall berücksichtigt werden.

Einige von den in Vorschlag gebrachten, und auch in Anwendung gekommenen, Verkohlungsöfen, haben unten einen Rost, durch welchen das Holz angezündet, und das möglichst schwache Zuströmen der äußern Luft dirigirt wird. Bei andern wird die zum Unterhalten des Feuers erforderliche Luft, durch Oeffnungen, welche theils auf der Sohle des Ofens, theils in mehrern über einander liegenden Reihen, in den gemauerten Umfassungswänden des Ofens, angebracht sind, und welche nach Umständen geöffnet und geschlossen werden können, zu dem zu verkohlenden Holze geleitet. — Das Holz muß so dicht, als möglich, eingelegt werden, damit keine hohle Stellen entstehen, weshalb es auch schwächer gespalten sein muß, als gewöhnlich. Aus eben dem Grunde ist es auch vortheilhafter, den innern Raum des Ofens viereckig und nicht rund zu machen, und sich bei der Bestimmung seiner Dimensionen genau nach der üblichen Länge der Scheite, oder umgekehrt, bei der Bestimmung der Länge der Scheite nach der Dimension des Ofens zu richten, um alle Räume auszufüllen. Das Feuer muß sich langsam von unten nach oben ziehn; zur Dirigirung desselben dienen dann die eben erwähnten Zuglöcher, oder Register. Die sich entwickelnden Dämpfe ziehen durch eine, im obern Theile des Schachtes

eingelegte, blecherne Röhre aus, und werden in die Kühltonnen geleitet. Oben ist der Ofen, wenn man ihm große Dimensionen zugetheilt hat, ebenfalls mit einem gemauerten Gewölbe geschlossen; bei kleinern Dimensionen bedient man sich wohl einer gegossenen eisernen Deckplatte, welche nach Beendigung der Verkohlung abgehoben werden kann, um den Ofen von Neuem zu füllen. Auf der einen Seite erhält der Ofen eine Thür, durch welche das Holz, bis zu einer gewissen Höhe eingesetzt wird, und welche zugleich zum Ausziehen der fertigen Kohlen dient; beim Gange des Ofens wird sie mit Mauersteinen versetzt.

Ausführliche Nachrichten über die Ofenverkohlung findet man in folgenden Schriften: Jordan's und Hasse's Magazin für Eisen-, Berg- u. Hüttenkunde; I. 2. Heft, S. 172 ꝛc. Wächter, im neuen Journal für Fabriken ꝛc., März 1810, Bd. III., Seite 193 ꝛc. Karsten's Archiv für Bergbau und Hüttenwesen, Bd. I., S. 203. Hollunder's metallurgisch-technologische Reise. Nürnberg 1824. S. 10, 107, 146, 397.

286. Die Verkohlung des Holzes in Gruben ist vielleicht die älteste Verkohlungsmethode. Das Holz wird in ausgegrabenen Gruben regelmäßig über einander gelegt, oben angezündet, zuerst locker, und nach und nach immer fester, mit Reisig und Erde bedeckt, und dem langsamen Verbrennen überlassen. Man hat die Gruben zum Theil auch ausgemauert, oder mit eisernen Platten belegt, auch besondere Kanäle angebracht, welche von der Erdoberfläche ab, mit der Sohle der Grube, oder des unterirdischen Ofens, in Verbindung gesetzt sind, und welche theils zum Hinzuleiten der atmosphärischen Luft, theils zum Abziehen der sich entwickelnden und durch besondere Verdichtungsvorrichtungen zu sammelnden, Dämpfe dienen, so daß diese Köhlerei eigentlich als eine Ofenverkohlung angesehen werden kann. Indeß fallen dabei zu viel Brände, oder noch nicht fertige, holzartige Kohlen, und es findet eine zu große Zerkleinerung der fertigen Kohlen beim Herausnehmen statt; außerdem hat man bei dieser Verkohlung in Gruben und Grubenöfen die Leitung des Feuers zu wenig in seiner Gewalt. Hierher sind die Verkohlungs-

methoden von Foucauld und de la Chabeaussière (Annales des Mines, VII p. 247) zu rechnen. — Am Ural sind die Erdgruben mit Mauerwerk ausgesetzt, in welchen das zu verkohlende Holz in horizontal liegenden Scheiten eingelegt und mit Erdreich bedeckt wird. In einer von den beiden schmalen Seiten befindet sich die Oeffnung zum Anzünden, und in der Decke sind mehrere Oeffnungen zur Beförderung des Luftzuges angebracht. (Erdmann's Beiträge zur Kenntniß des Innern von Rußland. Th. II. Bd. 2. S. 10.)

287. Von einer ganz andern Art sind diejenigen Verkohlungsöfen, in welchen das Holz nicht durch den Zutritt der atmosphärischen Luft zur Verkohlung gebracht wird, und in welchen die Verkohlung eben so wenig durch äußere Erhitzung der Ofenwände geschieht. Bei diesen Verkohlungsöfen wird das Hinzutreten der atmosphärischen Luft entweder ganz vermieden, und das zu verkohlende Holz empfängt im Ofen selbst die erforderliche Hitze; oder die zersetzte und glühende atmosphärische Luft wird zum Verkohlen des Holzes angewendet.

Die erste von diesen Verfahrungsarten scheint die zweckmäßigste zu sein. Das Holz wird in großen gemauerten Oefen, durch dessen innern Raum gegossene eiserne Feuerkanäle durchgeführt sind, möglichst dicht eingelegt, und es bleibt dabei jeder Zutritt der äußern Luft ausgeschlossen. Alle Feuerkanäle vereinigen sich zuletzt in einem einzigen Rohre, welches zum Abziehn des Rauches von der zur Erhitzung der Feuerkanäle benutzten Flamme dient. Die Dämpfe, welche sich aus dem zu verkohlenden Holz selbst entwickeln, werden durch besondere Röhren abgeleitet, und können, vermittelst einfacher Kühlvorrichtungen, verdichtet werden. Die Verkohlung ist hier also eine wirkliche Destillation, bei welcher das Holz unmittelbar, und nicht mittelbar durch die erhitzten Umfassungswände des Ofens, geglüht wird, indem die bis zum Glühen erhitzten Feuerkanäle die Verkohlung bewirken. Je feuchter das Holz ist, desto langsamer müssen die Feuerkanäle

angewärmt werden, um Explosionen zu verhüten. Sobald die wässerigen Dämpfe größtentheils verflüchtigt sind, kann die Hitze in den Feuerkanälen schnell verstärkt werden. Das Erhitzen und Glühendmachen der Feuerkanäle geschieht durch eine besondere Heizvorrichtung, welche mit den Feuerkanälen verbunden ist, so daß diese als die Esse zu betrachten sind, aus welcher die Flamme, die glühende Luft und der Rauch aus der Hitzvorrichtung abziehen, und die Kanäle in Gluth setzen. Diese Gluth theilt sich dem Holze im Ofen mit, welches dadurch verkohlt wird. Zum Heizen der Feuerkanäle können alle Holzabfälle und Torf angewendet werden. — Die Resultate dieser Verkohlungsmethode kennt man nicht genau, jedoch ist sie gewiß überall da anwendbar, wo das Holz nicht an zerstreueten Stellen im Walde verkohlt werden muß, sondern auf besondern Verkohlungsstätten, die stets beibehalten werden, zusammengebracht wird. (Hollunder's met. Reise a. d. a. O.)

Die zweite Verfahrungsart unterscheidet sich von der ersten nur dadurch, daß die Flamme und der glühend heiße Rauch, welche sich aus den, außerhalb der Umfassungswände des Ofens angebrachten Heizvorrichtungen entwickeln, nicht durch eiserne Röhren in den Ofen geleitet werden, sondern unmittelbar an das zu verkohlende Holz treten. Weil die atmosphärische Luft, indem sie bereits zum Verbrennen des Brennmaterials in den Heizvorrichtungen gedient hat, schon völlig zersetzt und ihres Gehaltes an freiem Sauerstoff beraubt ist, so kann sie ein Verbrennen des Holzes im Ofen nicht bewirken, sondern sie wird, wegen ihres glühend heißen Zustandes, nur dazu dienen, das Holz zu zersetzen, oder dasselbe zu verkohlen. Dies Verfahren ist sehr sinnreich, und von dem Herrn Oberdirektor Schwartz in Stockholm angegeben worden. (Karsten's Archiv, Bd. XI, S. 135.)

288. Von der Verkohlung in Oefen unterscheidet sich die Verkohlung in Haufen und Meilern dadurch, daß das zu verkohlende Holz nicht in festen, gemauerten Umfassungswänden eingeschlossen ist, sondern daß dasselbe eine bewegliche Decke

von Erde u. s. f. erhält, die bei jeder einzelnen Verkohlung aufgetragen und wieder abgenommen wird. Die Verkohlung geschieht hier durch den Zutritt der atmosphärischen Luft, wobei also nothwendig ein Theil derjenigen Kohle, welche bei der trocknen Destillation, oder bei der Verkohlung in Oefen ohne Luftzutritt zurückbleiben würde, verbrennen muß. Bei einer sehr vorsichtigen Verkohlung kann dieser Verlust an Kohle indeß nicht sehr groß sein, weil die Kohle nur langsam, und nicht eher verglimmt, als bis die Zersetzung des Holzes vollständig erfolgt ist; er wird aber sehr bedeutend, wenn der Verkohlungsprozeß sehr schnell ausgeübt wird, und wenn die atmosphärische Luft stark hinzuströmt.

Die Verkohlung des Holzes unter beweglichen Decken ist entweder Haufenverkohlung, oder die Meilerverkohlung. Beide Methoden unterscheiden sich dadurch, daß bei der erstern immer nur ein Theil des Holzes zur Verkohlung gebracht, und die fertige Kohle nach und nach gezogen wird, wogegen bei der letztern Methode nicht früher, als bis alles unter der beweglichen Decke befindlich gewesene Holz verkohlt ist, zum Ziehen der fertigen Kohle geschritten wird. Weil bei der Haufenverkohlung das zu verkohlende Holz gewöhnlich eine liegende Stellung erhält, so hat man diese Verkohlungsart auch wohl die Verkohlung in liegenden Meilern genannt. Das ist aber unrichtig, weil die gewöhnliche Meilerverkohlung ebenfalls in liegenden und in stehenden Meilern, d. h. bei einer horizontalen oder aufrecht gestellten Lage der zu verkohlenden Holzscheite geschehen kann.

289. Die Haufenverkohlung ist besonders noch in den südlichen Gegenden Deutschlands, in Rußland und in Schweden in Anwendung. Das Holz kommt dabei in runden Stämmen oder Kloben, und nicht in gespaltenen Scheiten, zur Verkohlung. Die Meilerstätte für einen solchen Haufen bildet ein rechtwinklichtes, längliches Viereck, dessen vordere und hintere Seiten kürzer sind, als die beiden andern. Von vorn nach hinten steigt die Stätte etwas an, und die beiden langen Seiten werden durch eine Reihe von senkrecht

stehenden, starken hölzernen Pfählen dergestalt begränzt, daß beide Reihen parallel neben einander fortlaufen. Die Pfähle in einer jeden Reihe stehen 2½ bis 3 Fuß von einander entfernt, und sind nach hinten, wo die Stätte ansteigt, höher, als vorn. Die Entfernung der beiden, zu einer Stätte gehörenden, Pfahlreihen von einander, richtet sich nach der Länge der zu verkohlenden Holzstämme. Die Länge der Stätten ist unbestimmt, richtet sich nach der Menge des in einem Haufen zu verkohlenden Holzes, weshalb sie von 20 bis 40 Fuß abweicht.

Die beiden Pfahlreihen, welche die langen Seiten einer solchen Verkohlungsstätte begränzen, stehen 3 Fuß weiter aus einander, als die Scheitlänge des Kohlenholzes beträgt, so daß zwischen den Stammenden des zu verkohlenden Holzes, und zwischen der Pfahlreihe jeder Seite ein Zwischenraum von 18 Zoll bleibt, welcher demnächst mit Kohlenlösche ausgefüllt wird.

Beim Richten oder Setzen des Haufens werden auf die abschüssige und mit Kohlenlösche ausgestampfte Sohle der Stätte einige dünne Hölzer, der Länge der Verkohlungsstätte nach, gelegt, und auf diese, nach der Breite der Stätte, die zu verkohlenden runden Holzscheite. Diese werden vorn, durch zwei schlittenkufenartig gebogene Hölzer, zusammengehalten, und liegen hier nicht viel über einen Fuß hoch. Nach hinten werden die Kohlenholzlagen aber immer höher über einander geschichtet, so daß sie zuletzt die Höhe von 10 bis 15 Fuß erreichen, je nachdem die Verkohlungsstätte kürzer oder länger ist. Die horizontal über einander liegenden Holzstämme, welche die hintere, fast senkrechte Fläche des Meilers bilden, müssen durch ein paar aufgestellte Pfähle, und gegen dieselben gespreizten Streben eine Haltung bekommen. Das möglichst dichte Legen der Holzstämme neben- und übereinander, um die Zwischenräume zu vermeiden, ist eine wesentliche Bedingung des guten Erfolges der Arbeit; auch müssen die Stammenden auf beiden Seiten genau in einer senkrechten Ebene liegen, und es dürfen nirgends Stammenden hervorstehen. Scheite, die zu kurz sind, um die ganze Breite des Meilers

auszufüllen, müssen mit andern kürzeren Holzstücken genau und sorgfältig ausgeglichen werden, damit nicht Höhlungen entstehen, in welchen das Feuer zu stark wirken würde.

Ist der Haufen auf diese Weise gesetzt, so wird er von allen Seiten, und oben mit angefeuchteter Kohlenlösche, bedeckt. Um diese an den Seiten festzuhalten, dazu dienen eben die Pfähle auf beiden Seiten des Haufens, deren Zwischenräume mit flachem, schindelartigem Holze inwendig, d. h. nach der Seite des zu verkohlenden Holzes zu, verzogen werden, so daß die Pfähle äußerlich ganz frei bleiben. Der Zwischenraum zwischen den Stammenden des Holzes und den mit Schindeln verzogenen Pfahlreihen, wird auf solche Art ganz mit Lösche ausgefüllt. Die Schindeln und die Pfähle schützt man durch öfteres Befeuchten vor dem Verbrennen.

Wenn der Haufen ganz mit Lösche bedeckt ist, so wird er vorn angezündet, und das Feuer muß sich nun von selbst weiter nach hinten ziehn. So wie das Feuer vorrückt, werden die vorn erzeugten Kohlen schon gezogen, und es ist besonders nur darauf zu sehen, daß sich das Feuer nicht ungleich fortzieht, und daß das sogenannte Segel, nämlich der Rücken, den die vordere Fläche des in der Verkohlung begriffenen Haufens, nach dem Arbeiter oder nach der vordern Seite zu, mittelst der Decke des Haufens bildet, immer gerade, oder auf die beiden Pfahlreihen senkrecht, bleibt. Auch muß die Löschdecke häufig nachgesehen und angeschlagen werden, damit sich beim Schwinden des Holzes nicht Höhlungen bilden, welche ein Durchbrennen der Decke, und ein Verascheu des Holzes auf diesen Punkten zur Folge haben würden.

Man rühmt die Qualität und Quantität der durch diese Methode gewonnenen Kohlen; allein Gewohnheit und Uebung des Köhlers und sorgfältige, möglichst langsam geleitete Verkohlung thun auch hierbei, so wie bei jeder andern Art der Verkohlung, das Meiste. (Karsten's metall. Reise. Halle 1821. S. 424.)

290. Bei der Meilerverkohlung erhält das zu verkohlende Holz eine bestimmte Länge, und die zu verkohlenden

Holzscheite werden entweder horizontal, in halb kugelförmiger Gestalt, neben- und auf einander hingelegt, oder sie werden senkrecht neben- und übereinander aufgerichtet, und erhalten die Gestalt eines abgerundeten Kegels. Das erste Verfahren ist das Verkohlen in liegenden, das letztere das Verkohlen in stehenden Meilern. Beide Methoden stimmen in Rücksicht der Dirigirung des Feuers und der Behandlung des Meilers während der Arbeit ganz überein, und weichen nur in der Art des Aufstellens der Holzscheite von einander ab.

Die beste Jahreszeit zum Verkohlen des Holzes sind die Sommermonate Mai bis Oktober. Klima und Beschaffenheit des Bodens können eine frühere oder spätere Köhlerei noch rathsam machen; die größte Nothwendigkeit und zufälliger Kohlenmangel, auf Hüttenwerken aber die Winterköhlerei, nur entschuldigen.

291. Wo das zu verkohlende Holz durch Rutschen und Flößen auf einen Punkt zusammengebracht wird, wählt man sich einen möglichst ebenen, trocken liegenden und gegen Stürme und Ueberschwemmungen gesicherten Platz zum Verkohlen aus. Weil man hierbei eine und dieselbe Meilerstätte immer wieder benutzt, so kann man auch auf die Zubereitung derselben die größte Sorgfalt verwenden. Sehr zweckmäßig würde es sein, wenn solche Meilerstätten ausgemauert und nach dem Mittelpunkte zu etwas geneigt wären, weil man dadurch ohne alle Unkosten Gelegenheit erhält, einen Theil der Säure und des Theers, welche sich beim Verkohlen bilden, zu gewinnen. Auch ist in diesem Falle die Köhlerei auf einer ganz horizontalen, hohlen und ausgemauerten, in der Mitte aber mit einer eisernen Platte belegten, Grundfläche sehr anwendbar, weil sich der Meiler durch das unter der eisernen Platte angelegte Feuer entzünden läßt, wodurch die leeren Räume und der starke Luftzutritt vermieden werden, welches nicht geschehen kann, wenn das Feuer im Meiler seblst angezündet wird.

Geschieht die Verkohlung aber im Walde, so hat man nur selten Gelegenheit, die einmal gebrauchte Meilerstätte öfter zu benutzen; das Holz müßte denn sehr dicht stehen, oder

das Terrain so beschaffen sein, daß die Meilerstätten mit Mühe und Kosten zubereitet werden müssen, in welchem Falle das Holz zu denselben gerückt wird.

Die Köhlerstätten müssen in der möglichst größten Nähe des Kohlholzes, und wo möglich, auch in der Nähe von Wasser sein; sie dürfen nicht hoch und frei, oder den Stürmen zu sehr ausgesetzt liegen, sondern möglichst gegen die herrschenden Winde gesichert und möglichst trocken, auch gegen alle Ueberschwemmungen durch eine nicht zu tiefe Lage gesichert sein. Die Stätte, die diesen Bedingungen entspricht, wird nun aufgemacht, d. h. vom Rasen entblößt, geebnet und sandiges oder zu lockeres Terrain etwas fester, und zu fester Boden etwas lockerer gemacht, indem ein zu lockerer Boden den Luftzug von unten zu sehr befördert, ein zu fester Boden aber das Eindringen der sich nach unten niederschlagenden Dämpfe verhindert, wodurch zu Bränden Anlaß gegeben wird. Deshalb muß auch ein zu feuchter Boden gänzlich vermieden werden, oder man muß ihn, so wie den zu festen und felsigen Boden, durch einen künstlichen Rost von dünnen Aesten und Reisig, oder durch eine Verbohlung, die dann, wie auch der Rost, mit Erde bedeckt werden, verbessern. Auch ist das Auslegen der Kohlenstätte mit flachen Schindeln, die immer wieder gebraucht werden können, sehr zu empfehlen, so wie der ungünstige Erfolg der Köhlerei in sehr vielen Fällen bloß von der nicht mit gehöriger Aufmerksamkeit zubereiteten Kohlenstätte herrührt. In der Mitte macht man die Stätte etwas höher, als an den Seiten. Jede gebrauchte Meilerstätte muß, da sie viel Feuchtigkeit an sich gezogen hat, erst wieder mit neuem Boden beschüttet — ausgestrichen — werden, welches um so nöthiger ist, da die Kohlenlösche ganz besonders begierig die Feuchtigkeit an sich zieht. Nach der Beschaffenheit des Bodens kann daher bald eine schon gebrauchte Meilerstätte den Vorzug vor einer frischen, bald diese den Vorzug vor jener erhalten. (Karsten's metall. Reise, S. 325.)

292. Ist die Meilerstätte zubereitet, so wird zum Aufstellen des Holzes, oder zum Richten des Meilers, ge-

schritten. Man richtet zu dem Ende, im Mittelpunkte der Stätte, dem sogenannten Quandel, eine dicke Stange — den Quandelpfahl — auf, und stellt die Holzscheite um diesen Pfahl in concentrischen Schichten auf, so daß der Quandel immer der Mittelpunkt der durch die Holzscheite zu beschreibenden concentrischen Kreise bleibt. Wie groß der Radius der zu beschreibenden Kreise sein soll, wie viel kreisförmige Reihen von Scheiten man also hinter einander folgen läßt, hängt von der Größe ab, die man dem Meiler geben will. Es giebt Meiler von 6 bis 30 Fuß Durchmesser. An einigen Orten zieht man die kleinern Meiler den größern vor, an andern will man aus den größern ein besseres Kohlenausbringen, als aus den kleinern erhalten haben. Weil die kleinen Meiler keine bedeutend geringere Pflege und Sorgfalt erfordern, als die größern, und weil sich die Verkohlung in den größern Meilern durch die bloße Hitze, und daher bei einem weit geringern Zuströmen von Luft bewirken läßt; so verdienen die größern Meiler den Vorzug vor den kleinern, — es versteht sich, daß die Lokalität des Bodens günstig, daß eine gute Decke vorhanden ist, und daß dem größern Meiler verhältnißmäßig weniger Luft, als dem kleinern, gegeben wird. Jedoch wird ein geschickter und fähiger Köhler aus einem Meiler von 80 bis 100 Kubikfuß eben so viel und eben so gute Kohlen erhalten, als aus einem Meiler, der 3 bis 4000 Kubikfuß in sich faßt. Bei so großen Meilern werden drei Reihen von Holzscheiten über einander gestellt, statt daß die kleinern, und die Meiler von mittler Größe, nur eine oder zwei Reihen erhalten. Man hat daher ein-, zwei- und dreischichtige Meiler, bei denen aber jederzeit ein gewisses Verhältniß des Durchmessers zur Höhe stattfinden muß. Die obere Fläche, welche die letzte Schicht bildet, wird durch flacher gelegte Holzscheite abgerundet, und der dadurch gewissermaßen entstehende Aufsatz auf den eigentlichen concentrischen Holzschichten, heißt die Haube des Meilers. Je steiler der Meiler gesetzt werden kann, oder je größer seine Höhe im Ver-

hältniß zum Durchmesser ist, desto geringer ist der Holzverlust, oder desto reichlicher das Kohlenausbringen.

Bei den liegenden Meilern werden die Holzscheite in horizontaler Richtung und gleichsam strahlenartig, jedoch so, daß alle Zwischenräume mit dünneren, und zum Theil kürzeren, Scheiten ausgefüllt werden, rund um den Quandelfahl in mehrern Reihen über einander gelegt, so daß die nächste obere Reihe immer einen etwas geringeren Durchmesser, als die nächste untere, erhält, wodurch der fertige Meiler das Ansehen einer Halbkugel erhält.

Das Anzünden des Meilers geschieht unten beim Quandel, weshalb man auf diesem Punkte immer einige leicht Feuer fangende Materien, Kien, oder sehr trocknes, fein gespaltenes Holz, hinbringen muß. Die Art des Anzündens ist aber verschieden, und man unterscheidet das Anstecken des Meilers von oben, durch die Oeffnung, welche der nach dem Aufrichten des Meilers herauszunehmende Quandelpfahl bildet, und das Anstecken von unten, wobei auf der einen Seite, an der Grundfläche des Meilers ein Kanal, von der Peripherie zum Quandel führend, und die Zündgasse genannt, offen erhalten werden muß. Beim Anstecken von oben muß man, um mit der Zündruthe zum Quandel zu gelangen, beim Richten des Meilers, einen aus drei, im Dreieck gegen einander gestellten Stäben, gebildeten engen Schacht stehen lassen. Im Allgemeinen verdient das Anzünden von unten wohl den Vorzug.

Je dichter der Meiler gesetzt wird, und je weniger unausgefüllte Zwischenräume übrig bleiben, desto vollkommner wird die Verkohlung, und desto geringer der Holzverbrand, bei übrigens gleichen Umständen, ausfallen. Bei einem dreischichtigen Meiler werden die stärksten Kloben, welche sich nicht haben spalten lassen, in die mittlere Schicht gebracht. Die Brände, die von der vorigen Verkohlung etwa übrig geblieben sind, werden zunächst um den Quandel gelegt, um anfänglich ein schnelles und bald um sich greifendes Feuer zu bewirken, damit nicht durch langsames Verbrennen zu viel Holz verloren geht. Die dicken Enden der Scheite müssen

bei der untern Schicht nach oben, bei der zweiten Schicht nach unten gerichtet sein, weil in jener Gegend des Meilers die größte Hitze stattzufinden pflegt, auch der Luftzug von unten nach oben dadurch mehr verhindert und der Entstehung der Brände mehr vorgebeugt wird. Zu starkes Holz ist möglichst zu vermeiden. Die Kernseite der gespaltenen Kloben richtet man immer nach dem Quandel, um dadurch das möglichst dichte Setzen des Holzes, welches in dieser Stellung auch leichter vom Feuer ergriffen wird, zu bewirken. Deshalb müssen auch alle Kloben von gleicher Länge sein.

Weil man den am dichtesten und steilsten gesetzten Meilern den größten Vorzug geben muß, beide Eigenschaften aber bei stehenden Meilern nicht in dem Grade zu erlangen sind, als bei liegenden; so kann man den letztern den Vorzug vor den erstern nicht versagen. Die vortheilhafteste Konstruktion der liegenden Meiler scheint die zu sein, daß in der Mitte des zu errichtenden Meilers ein, aus einem möglichst steilen stehenden Meiler bestehender, Kern aufgerichtet wird, und um diesen Kern horizontale Holzschichten dergestalt gelegt werden, daß die Enden der Kloben nach der Quandelstange gerichtet sind. Hierbei lassen sich alle hohlen Räume, soviel dies überhaupt möglich ist, gänzlich vermeiden, und die treppenartigen Absätze, welche durch das Hervorspringen der untern horizontalen Schichten vor den obern, rings um die Außenfläche des Meilers gebildet werden, bieten der Decke, auch bei der größten Steilheit, einen Ruhepunkt dar, und verhindern das Herabfallen. Bei sehr langen Scheiten bedarf es nur einer einzigen horizontalen Lage rings um den Kern; bei kürzeren können aber zwei Reihen hinter einander gelegt werden, wenn man große Meiler erhalten will. Besonders muß bei liegenden Meilern eine große Aufmerksamkeit auf das Aufmachen der Kohlenstätte gerichtet werden.

Eine ganz vorzügliche Aufmerksamkeit erfordert das Richten der Meiler aus Stock- und Stucken-, oder Stubbenholz, um die Zwischenräume gehörig auszufüllen. Das Leib- und Astholz dürfen auch nicht gleichzeitig verkohlt werden, jedoch

kann letzteres auch zur Ausfüllung der hohlen Räume, welche die gewundenen und die knorrigen Scheite bilden, so wie der, welche bei der Formirung der Haube entstehen, angewendet werden, oder man bringt es auch in die dritte Schicht des Meilers. Wurmfräßiges, stockiges und grünes Holz, giebt immer sehr schlechte Kohlen, und man muß es vermeiden, dasselbe in den Meiler zu bringen. — Hartes und weiches Holz darf ebenfalls nicht zusammen in einen Meiler gebracht werden, weil letzteres sich eher verkohlt, als das erstere; wo es aber die Umstände erfordern, muß das harte Holz in die Mitte des Meilers, das weiche aber in die äußern Reihen, oder zur Haube angewendet werden.

Eine Berechnung des Inhalts und der Oberfläche der Kohlenmeiler, bei gegebener Höhe und bei bekanntem Umfange, hat der verstorb. Oberbergrath Stünkel (Jordan's und Hasse's Magazin für Eisenberg- und Hüttenkunde, I. Heft 2, S. 87 ꝛc.) geliefert.

Beim Verkohlen des Holzes muß das Brennen verhütet, folglich der Zutritt der äußern Luft abgehalten, und nur so viel Luft zugelassen werden, als durchaus nothwendig ist, um durch die, mit einem Theil der wirklich verbrennenden Kohle stattfindende Zersetzung des Holzes erforderliche Hitze hervorzubringen. Deshalb sucht man beim Verkohlen im Großen in den Haufen und Meilern den Zutritt der äußern Luft durch eine am wenigsten kostbare Decke, nämlich durch eine Erddecke, mit welcher man die ganze Masse des zu verkohlenden Holzes umgiebt, abzuhalten. Weil die lockre Erde aber zu leicht durchfallen und das Feuer ersticken würde, so muß man den Meiler, ehe man ihn mit Erde bewirft, noch mit einer Decke von Rasen, oder wo man diesen nicht haben kann, von Reisig, Tannennadeln, Laub und Moos versehen. — Mit dieser ersten Decke wird der Meiler versehen, sobald er gerichtet und geschlichtet ist, d. h. sobald die Zwischenräume, welche die Scheite verursachen, mit dünnem Holze möglichst ausgeglichen sind, so daß die Oberfläche des Meilers glatt erscheint. Bei dieser Bedeckung erhält der Meiler zu-

gleich am Fuße die sogenannte Rüstung, oder eine 6 Zoll von der Grundoberfläche entfernte, rings um die Peripherie laufende, horizontale Umfassung mit dünnen Aesten, welche in hölzernen Gabeln liegen. Zuweilen legt man auch nur 3 bis 4 Fuß lange Hölzer am Fuße des Meilers dergestalt umher, daß zwischen jedem Rüstholze ein Zwischenraum bleibt; oder man legt die Rüsthölzer auf Steine, die um die Grundfläche des Meilers in Entfernungen, welche der Länge der Rüsthölzer angemessen sind, umhergelegt werden. Diese Rüstung soll theils dazu dienen, der Decke einen Widerhalt zu verschaffen, theils aber auch, um den Dämpfen am Anzündungstage Gelegenheit zu geben, durch die Zwischenräume an der Sohle einen Ausgang zu finden. Bei großen und steilen Meilern bringt man in der mittlern Höhe (Brust) des Meilers noch wol eine zweite Rüstung an, welche auf Rüstgabeln ruht, die so lang sind, als die Höhe beträgt, in welcher die Rüstung gemacht werden soll.

Man macht die Bedeckung von unten herauf, und giebt ihr bei gutem Material eine überall gleiche Dicke von 3 Zoll, und bei schlechtem eine Dicke von 5 Zoll. Vorzüglich muß aber die Haube sehr sorgfältig bedeckt, und mit einer stärkern, vorzüglich guten, dichten Decke versehen werden, weil sonst das Feuer, welches ohnehin gegen die Haube am stärksten wirkt, durchbrennen würde. Nach dieser ersten Decke erhält der Meiler die zweite, oder eigentliche Decke von Erde. Zu derselben darf weder zu feste und fette, noch zu lockere Erde angewendet werden, weil erstere beim Erhitzen reißt, und letztere zu wenig Konsistenz hat. Man muß daher zuweilen wohl eine künstliche Decke von Thon und Sand zusammensetzen. Die allervorzüglichste Decke ist die angefeuchtete, und durch öfteres Begießen feucht erhaltene, Kohlenlösche, und wo man Gelegenheit hat, sie anzuwenden, welches überall da der Fall ist, wo die Köhlerei auf einem Punkte geschieht, da sollte durchaus keine andere Decke genommen werden. Auch ist hierbei jede erste Decke unnöthig.

Obgleich die Decke des Meilers in der Regel überall

gleich ist, um das Feuer nicht nach der schwächer beworfenen Stelle hinzuziehen, so wird doch die Haube stärker beworfen, weil sie der Wirkung des Feuers am mehrsten ausgesetzt ist, und dasselbe geschieht auch an allen den Stellen des Meilers, von welchen man das Feuer abhalten will, wie z. B. an den dem Winde zugekehrten Seiten. Muß nasses und verstocktes Holz verkohlt werden, so darf der Meiler zuerst nicht so stark bedeckt werden, weil er schwerer in Brand kommt und mehr Feuchtigkeit ausschwitzt. — Die Stärke der zweiten Decke vor dem Anzünden beträgt ohngefähr zwei Zoll. — Man befolgt bei diesem Bedecken der Meiler vor dem Anzünden nicht einerlei Methode, sondern bedeckt ihn, wie es Gewohnheit und Glaube mit sich bringen, hier ganz, dort erst oben, an einem andern Orte erst unten, und giebt die ganze Decke erst dann, wenn kein dichter, gelblichschwarzer, nasser Rauch mehr aufsteigt. Ueberall, wo Luftzug oder Wind dem Meiler nachtheilig werden kann, muß er von allen, oder von den Seiten, woher der Zug kommt, mit Windschauern umgeben werden. Diese bestehen entweder aus Brettern, oder aus Wasen und Hecken, stehen 8 bis 12 Fuß vom Meiler, und sind 12 bis 14 Fuß hoch.

293. Das Anzünden des Meilers muß früh Morgens, und an keinem windigen Tage geschehen, indem er die ersten 16 Stunden die genaueste Wartung bedarf, und Wind die Veranlassung ist, daß sich das Feuer nach einer Seite zieht. Man muß bemüht sein, ein starkes und schnelles Anwärmfeuer zu geben, damit die Feuchtigkeit im ganzen Meiler schneller entfernt, und dadurch eine bessere Regierung des Feuers möglich gemacht wird. Ein zu langsames Anwärmen zieht immer einen großen Holzverlust und schlechten Gang der Arbeit nach sich. Wird den Dämpfen nicht der gehörige Abzug verschafft, so wird, besonders bei sehr kienigem Holz, ein Stoßen, Schütteln, Schlagen, oder Werfen der Meiler herbeigeführt. Die Oberfläche der Meilerdecke überzieht sich bei dem Anwärmen mit Feuchtigkeit, weshalb man diese Operation das Schwitzen, das Bähen, das Abbähen des Meilers

nennt. — Von dem schnellen und vorsichtigen Abbähen des Meilers hängt das Gelingen der ganzen Verkohlung ab.

Durch das erste heftige Umsichgreifen des Feuers, theils durch das wirkliche Verbrennen oder Veraschen eines Theils des Holzes, theils durch das allgemeine Schwinden des gesammten, im Meiler befindlichen und erhitzten, Holzes muß ein hohler Raum entstehen, welcher das Zusammensinken des ganzen Meilers bewirken kann, wodurch die Decke zerrissen, folglich das Verbrennen des Holzes im Meiler veranlaßt werden würde. Diese hohlen Räume müssen sehr sorgfältig ausgefüllt werden, weshalb sich der Köhler vermittelst eines hölzernen Steges, in welchem Stufen ausgehauen sind, auf den Meiler begiebt, die Decke von der obern Spitze der Haube abwirft, und das Holz, so wie die entstandenen Kohlen, mit einer langen Stange (Füllstange) so weit und tief, als möglich, zusammenstößt, und den dadurch entstandenen hohlen Raum, entweder mit Bränden, oder mit Kohlenholz, und im Nothfall auch mit Kohlenlösche, ausfüllt, und dann die Decken wieder mit Vorsicht aufträgt. Man nennt dieses Geschäft das Füllen des Meilers.

Ist der Meiler ganz ausgewärmt, so hat der Köhler kein Werfen weiter zu befürchten, weshalb die Rückungsräume auch mit der zweiten Decke stark beworfen werden. Weil die Decke aber sich von der Fläche des Meilers abzieht und locker zu werden pflegt, so muß sie nach geschehenem Füllen überall wieder an das Holz mit der Füllstange angeschlagen werden, welches man das Umfassen des Meilers nennt. Auch werden alle entstandenen Ritzen und Oeffnungen mit einer Schaufel gehörig geschlossen. In diesem Zustande muß der Meiler 2 bis 3 Tage ganz in Ruhe stehen und sich selbst überlassen bleiben, indem bei fast gänzlichem Ausschluß der Luft die innere Gluth nur zur Verkohlung des Holzes wirken soll. Man nennt diesen Zustand das Treiben des Meilers. Damit jedoch das Feuer durch die sich entwickelnden sauren und öligen Dämpfe nicht ersticke, muß das Feuer durch Zuglöcher oder Registeröffnungen (Raumlöcher), welche

man mit dem Schaufelstiel durch die Decke des Meilers stößt, dirigirt werden. Je schwächer man den Zug macht, je langsamer also die nun folgende Operation, oder das Zubrennen des Meilers, geschieht, desto vollkommener ist die Arbeit, und desto größer das Ausbringen an Kohlen.

Bei jedem Meiler muß die Direktion des Feuers durch die Raumlöcher am Fuße desselben (Fußräume) bewirkt werden. Er behält sie bis zu seiner völligen Verkohlung, und bleibt ohne andere Räume, nach Verhältniß seiner Größe, 4 bis 8 Tage, oder eigentlich so lange stehen, bis ein nochmaliges Füllen des Meilers geschehen ist. Die durch das fortgesetzte Schwinden des Holzes entstandenen hohlen Räume bewirken nämlich ein Einsinken der Kappe oder Haube, und sobald der Köhler dies bemerkt, muß er zum Füllen schreiten, nachher aber die Haube jedesmal mit dem Wahrhammer wieder fest zusammenschlagen. Wenn sich die Haube nach dem Füllen wieder gesetzt, folglich die Wirkung des Feuers nach oben aufgehört hat, so wird zum Stechen der Mittelräume geschritten. Man sticht diese gewöhnlich in der Mitte des Meilers, oder da, wo die untern und die mittlern Holzschichten zusammentreffen. Bei sehr großen Meilern wird auch wol noch eine zweite Reihe von Mittelräumen, näher nach der Haube zu, angebracht. Der Meiler tritt nun in die Gare. Das Feuer bricht stellenweise am Fuße des Meilers durch die Fußräume durch, wodurch leicht ein unnöthiger Kohlenverbrand entstehen kann, wenn der Köhler unaufmerksam ist. Geschieht dies Durchbrechen des Feuers gleichförmig und gleichzeitig im ganzen Umkreise des Meilers, so ist die Arbeit gut gegangen; will es aber auf einzelnen Punkten nicht durchkommen, ist also das Holz dort nicht gehörig verkohlt, so muß das Verkohlen durch Stechen mehrerer Räume beeilt werden, wogegen man natürlich alle Räume auf den garen Stellen fest verschließt. — Nachdem das Garen des Meilers überall erfolgt ist, bleibt er etwa 24 Stunden lang ganz zugedeckt, und gegen allen Zutritt der Luft geschützt, ruhig stehen. Dies nennt man das Abkühlen

des Meilers. Würde er in diesem Zustande lange genug erhalten, so müßte das Feuer zuletzt erlöschen; weil aber der gänzliche Ausschluß der Luft ganz unmöglich ist, so würde das von selbst erfolgende Ersticken der Kohlen zu einem großen Kohlenverbrande Anlaß geben. Auch sind die erstickten Kohlen nicht so gut, als die, in denen das Feuer ausgelöscht worden ist. — Nach 24 Stunden etwa wird der ganze Meiler abgeputzt und gelöscht. Der Köhler harkt und fegt nämlich die Decke ab, hält dann den feinen Sand davon aus, und bewirft den ganzen Meiler damit, so daß er sich durch die Spalten des verkohlten Holzes durcheimert und das Feuer erstickt. Wo man Lösche als Meilerdecke anwendet, kann man auch mit dieser das Feuer in den Kohlen ersticken.

Nachdem der abgeputzte und gelöschte Meiler 12 bis 24 Stunden gestanden hat, wird zum Kohlenziehen, oder Kohlenlangen geschritten. Dies geschieht erst rings um die Peripherie des Meilers, und man fährt dann von der Haube bis zum Fuße fort. Es muß dabei alles Zerkleinern der Kohlen vermieden werden, und wenn die gezogenen Kohlen noch Feuer enthalten, so muß dies mit Wasser, und nur im Nothfall mit Sand, gelöscht werden.

294. Die Zeit, welche ein Meiler vom ersten Anzünden bis zum Garwerden erfordert, ist theils nach der Größe, theils nach der Behandlung des Meilers, verschieden. Ein kleiner Meiler erfordert vielleicht nur 6 Tage, wenn ein größerer wohl 4 Wochen bedarf. Auf Meiler, deren Inhalt etwa 3000 Kubikfuß beträgt, pflegt man 14 bis 16 Tage zu rechnen. Hartes Holz erfordert längere Zeit zum Garwerden, als weiches, eben so auch das angegangene, stockige und nasse Holz, weshalb sich keine allgemeine Vorschrift darüber geben läßt. Eine Beschleunigung des Prozesses ist stets mit Nachtheil für die Quantität und Qualität der Kohlen verbunden.

Da sich das Entstehen der Brände nicht ganz vermeiden läßt, so werden dieselben gewöhnlich, nach Beendigung der Köhlerei, in einem Haufen (Brandbock) ganz verkohlt. — Das Sortiren der Kohlen in grobe und kleine (Quandelkoh-

len) geschieht sogleich bei dem Ziehen. An der Peripherie des Meilers sind die größten Kohlen vorhanden, nach dem Quandel zu die kleinsten, denn hier wird das Holz am meisten angegriffen. — Die gezogenen Kohlen müssen ohne Verzug abgefahren werden. Die Erfahrung hat gezeigt, daß eine ganz frisch aus dem Meiler kommende Kohle leichter verbrennt, also nicht so wirksam ist, als eine Kohle, welche einige Wochen lang gehörig bedeckt gelegen hat. Obgleich es daher nicht vortheilhaft ist, ganz frische Kohlen zu verarbeiten, so ist es doch noch weit nachtheiliger, die Kohlen, durch langes Liegen ohne Bedachung, der Feuchtigkeit der Atmosphäre auszusetzen; denn die Feuchtigkeit ist der größte Feind der Kohlen, und nasse Kohlen sind fast für ganz unbrauchbar zu halten.

295. Thilorier hat den Vorschlag gemacht, in den Meilern, in der Höhe der ersten Holzschichten, Röhren von Eisen- oder Kupferblech, mit einer geringen Neigung nach Außen zu, anzubringen, welche alsdann zum Abziehen der Dämpfe benutzt werden, und durch die man das Feuer dirigiren kann, indem man die Oeffnungen der Röhren verschließt, oder mehr oder weniger offen läßt. Auf diese Weise soll das Kohlenausbringen bedeutender werden, auch kann man, wenn man an das Ende der Röhren Kühlapparate anbringt, einen Theil der Holzsäure auffangen.

Nach Marcus Bull soll man in Neu-Jersey die Erfahrung gemacht haben, daß, wenn man die Zwischenräume zwischen den Holzscheiten mit Kohlenlösche ausfülle, das Ausbringen an Kohlen, dem Volum nach, 10 Procent mehr betrage, und daß dann auch die Qualität der Kohle besser sei. Dies kommt mit dem überein, was oben über die Decke von Kohlenlösche gesagt worden ist.

Außer den schon oben bemerkten Schriften handeln noch folgende über das Verkohlen des Holzes im Allgemeinen. Karsten's Eisenhüttenkunde. 2. Aufl. Theil II. Abtheil. 2. Hassenfratz Sidérotechnie II. 17. Uebersetz. v. Hasse Bd. II. Hft. 1. S. 4. Bornemann, Abhandl. von den Kohlen. 1776. Du Hamel du Monceau, Kunst des Kohlenbrennens. A. d. Franz. von Justi. 1762. Halle, Werkstätte der heutigen Künste. Bd. 3. Era-

mer's Anleitung zur Forstwissenschaft. 1766. v. Uslar's forstwissenschaftliche Bemerkungen auf einer Reise. 1792. v. Herburger's Beschreibung der italienischen Kohlungsmethode. Auf allerhöchsten Befehl herausgegeben. Wien, 1812. Af Uhr, Anleitung zur Verkohlung des Holzes. A. d. Schwedischen v. Blumhoff. Gießen, 1820. Handbok för Kölare, Stockholm, 1823. Lampadius in Erdmann's Journal für techn. u. ökon. Chemie. Bd. II. 1. Derselbe, das. Bd. IV. 49. Helmert, daselbst Bd. IV. 230.

296. Durch alle bekannte Verkohlungsmethoden erhält man nie die ganze Quantität des in dem Holze vorhandenen Kohlenstoffes. Ein Theil von der Kohle wird durch den Luftstrom wirklich verbrannt, auch führen die sich entwickelnden Gase einen bedeutenden Theil mit sich weg.

Die vollkommen trockene Holzfaser, welche, wie schon oben bemerkt wurde, fast 0,96 des trocknen Holzes bilden, bestehen aus:

Sauer- und Wasserstoffgas in den zur Wasserbildung erforderlichen Verhältnissen	48, 5
Aus Kohle	51, 5
	100

Durch den gewöhnlichen Verkohlungsprozeß in Haufen und Meilern erhält man an Kohle	15 bis 18	Procent.
Durch das Verfahren von Thilorier	20	»
Durch das von Foucauld	25	»
Durch den Apparat von Mollerat	23	»
Durch Destillation in verschlossenen Gefäßen	27	» [1])

[1]) Bei der gewiß vorzüglichen Köhlerei in stehenden Meilern am Harz und im sächsischen Erzgebirge, erhält man aus 100 Kubikfuß Holz 80 bis 90 Kubikfuß Kohlen. Nach Karsten (Eisenhüttenkunde II. 201.) enthalten alle jetzt lebenden Pflanzenfasern, ohne Ausnahme, ob sie die festesten Hölzer, oder die zartesten Gräser sind, wenn sie in sehr langsam gesteigerter Temperatur verkohlt werden, fast gleiche Quantitäten Kohle. Dies Kohlenausbringen beträgt, bei gleichem Grade der Lufttrockenheit, dem Gewichte nach, 25 — 27 Procent reine Kohle. H.

297. Es geht aus den obigen Resultaten hervor, daß durch das beste Verfahren kaum die Hälfte der in dem Holze vorhandenen Kohle erfolgt. Es scheint daher, daß die Verkohlungsprozesse einer großen Vervollkommnung fähig sind; allein es muß bemerkt werden, daß, welche Methode man auch anwendet, man stets eine gewisse Quantität von dem Brennmaterial, zur Entwickelung der fremdartigen Bestandtheile der Kohle, verwenden muß, und daß folglich, wenn das Brennmaterial von dem Holze selbst geliefert wird, auf diese Weise stets eine gewisse Menge von der Kohle verzehrt werden muß. Um zu erfahren, welches das Maximum der Produktion bei den eben beschriebenen Prozessen ist, müssen wir den günstigsten Fall annehmen, daß der in den Holzfasern vorhandene Sauer- und Wasserstoff sich zu Wasser auflöse. Das Holz, welches man gewöhnlich verkohlt, ist das Jahr vorher geschlagen, und enthält 25 Procent Wasser; in 100 Kilogr. sind daher 75 Kilogr. Holzfasern vorhanden, die fast 0,6 Procent Asche enthalten, wodurch das Gewicht der reinen Fasern auf 74,5 Kilogr. reducirt wird, welche 52 Procent, oder 36,66 Kilogr. Kohlen, und 48 Proc., oder 33,84 Kilogr. Wasser enthalten.

Um nun 36,66 Kilogr. Kohlen frei zu machen, müssen 1) 25 Kilogr. Wasser, die das Holz enthält, und 33,84 Kilogr., welches von der Zersetzung der Holzfasern kommt, also im Ganzen 58,84 Kilogr. Wasser verdampfen; 2) die 36,66 Kilogr. Kohlen rothglühend werden.

Nimmt man an, daß die Kohle bei ihrer Verbrennung 7300 Wärmestoff-Einheiten entwickele, so wird die zur Verdampfung von 56,84 K. Wasser erforderliche Kohlenmenge $\frac{58{,}84 \times 650}{7300} = 5{,}30$ Kilogr. betragen.

Da die Wärme-Kapacität der Kohle 0,26, und die Temperatur wenigstens $= 500°$ ist, so beträgt die Menge der Wärmestoff-Einheiten, um 36,66 Kilogr. Kohlen rothglühend zu machen, $= 36{,}66 \times 500 \times 0{,}26 = 4765$ Einheiten, welche $\frac{4765}{7300} = 0{,}65$ Kilogr. Kohle erfordern.

Demnach beträgt die zur Hervorbringung dieser beiden

Wirkungen erforderliche Kohlenmenge 5,3 Kilogr. + 0,65 K. = 5,95 Kilogr.

Es folgt hieraus, daß das Maximum der Kohlenproduktion aus 100 Kilogr. Holz, nicht mehr, als 30 Kilogr. betragen kann. Wenn man dann ferner berücksichtiget, daß die ganze entwickelte Wärme nicht dazu benutzt ist, um die beiden fraglichen Wirkungen hervorzubringen; daß nothwendiger Weise ein Verlust durch die Decke der Meiler, oder die Wände der Oefen, stattfinden muß; daß ein Theil des Wassers stets versetzt ist, und daß sein Wasserstoff sich stets mit einer gewissen Quantität Kohle verbindet, so wird man einsehen, daß das Maximum des Kohlenausbringens 25 Procent nicht übersteigen kann; daß man folglich bei der Meiler- und Haufenverkohlung noch 7 Procent mehr gewinnen könne.

Bei den vorhergehenden Berechnungen hat man übrigens angenommen, daß bei der Wasserbildung, durch die Zersetzung der Holzfasern, keine Wärme entwickelt werde: diese Hypothese ist zwar nicht erwiesen, aber sehr wahrscheinlich.

298. Die Aschenmenge, welche die Holzkohlen geben, ist leicht zu berechnen, wenn man die kennt, welche aus der Verbrennung der Hölzer entstehen, und wenn man das Kohlenausbringen der verschiedenen Hölzer kennt; denn die Asche findet sich ganz in den Kohlen, die in verschlossenen Gefäßen erzeugt worden sind. Es folgt hieraus, daß die Menge der, durch irgend eine Kohlenmenge gegebenen, Asche gleich der ist, welche aus der Verbrennung der sie erzeugenden Holzmenge erfolgen würde. Nun beträgt nach (264) die, durch verschiedene trockne Hölzer hervorgebrachte, Aschenmenge im Durchschnitte 0,015, und da die Kohlenproduktion der Hölzer fast 22 Procent beträgt, so ist die Aschenmenge verschiedener Kohlen im Durchschnitte fast $= 0{,}015 \times \frac{100}{22} = 0{,}068$.

299. Eigenschaften der Holzkohlen. Eine gute Kohle muß beim stärksten Zutritte der Luft bloß glühen, und nie mit Flamme brennen; sie muß weder mürbe, noch zerbrechlich, sondern dicht, fest und spröde sein, nicht abfärben,

eine vollkommen schwarze Farbe haben, specifisch leichter, als Wasser sein, eine glänzende und muschlige Bruchfläche haben, und, frei zwischen den Fingern gehalten, klingen, aber keinen dumpfen Ton von sich geben. Sie sind unschmelzbar, und haben mit allen porösen Körpern die Eigenschaft gemein, eine große Menge Gas zu absorbiren. — Die Meinungen über die Güte der Kohlen aus liegenden und stehenden, aus großen und kleinen Meilern, aus Meilern und aus Oefen, sind sehr verschieden; indeß ist diese Verschiedenheit im Verhalten nur der Behandlung des Holzes beim Verkohlen zuzuschreiben.

300. Alle Kohlen entwickeln beim Brennen, dem Anschein nach, eine gleiche Wärmemenge, weil alle eine gleiche Sauerstoffmenge absorbiren, und da, nach dem schon Gesagten, die Menge der durch die Verbrennung entwickelten Wärme sehr wahrscheinlich proportional der absorbirten Sauerstoffmenge ist. Allein nicht alle Holzkohlen brennen auf gleiche Weise, denn die dichten brennen langsamer, als die leichten.

301. Man sah alle Kohlen als schlechte Wärme- und gute Electricitäts-Leiter an, allein Chevreuse hat dargethan, daß die Kohlen, hinsichtlich ihrer Wärme- und Electricitäts-Leitungsfähigkeit, und hinsichtlich ihrer Brennbarkeit, in zwei verschiedenen Zuständen vorkommen können.

Die stark gebrannten und die Kohlen, welche nur der zu ihrer Verkohlung erforderlichen Hitze unterworfen gewesen sind, verhalten sich gegen die Wärme und Electrität auf eine ganz verschiedene Weise.

Die erstern leiten die Wärme und die Electricität; letztere aber weder die eine noch die andere. Erstere haben eine weit größere Dichtigkeit, absorbiren zwar dieselbe Feuchtigkeitsmenge, als die letztere, allein weit langsamer. Werden die stark gebrannten Kohlen angezündet, so verlöschen sie von selbst wieder, wenn das Feuer nicht unterhalten wird, wogegen die letztern fortbrennen. Die Details über diese Versuche findet man in den Annales de Physique et de Chemie, tom. 29, p. 426.

302. Heizkraft. Die Heizkraft der Kohlen scheint, wie

wir schon weiter oben bemerkten, constant zu sein. Marcus Bull hat in einer langen Reihe von Versuchen, Beobachtungen über vier Kohlenarten, über die vom Nußbaum, vom Ahorn, von der Eiche und von der Fichte gemacht, und gefunden, daß, bei gleichem Gewicht, sie genau dieselben Wärmemengen entwickeln.

Die absolute Menge der entwickelten Wärme ist durch mehrere Physiker bestimmt worden; die vorzüglichsten unter den erhaltenen Resultaten sind folgende.

Nach Laplace und Lavoisier giebt 1 Kilogr.	7226	Einheiten.
Nach Hassenfratz, in Maximo	7200	»
» » in Minimo	5550	»
Nach Clément und Désormes	7050	»
Nach Despretz	7815	»

303. Diese Zahlen sind sehr von einander verschieden. Man wird dies nicht unglaublich finden, wenn man die Schwierigkeiten bedenkt, welche bei genauen Versuchen damit verbunden sind, alle Irrthümer zu berücksichtigen. Das letztere Resultat hat eine große Wahrscheinlichkeit für sich, indem Despretz zu gleicher Zeit die von dem Wasserstoff entwickelte Wärme bestimmt hat, und da diese beiden Quantitäten offenbar den von diesen beiden Brennmaterialien absorbirten Sauerstoffmengen proportional sind. Man muß aber bedenken, daß diese letztere Zahl mit reiner Kohle erhalten ist, und daß die gewöhnlichen Holzkohlen immer 7 Procent unverbrennlicher Materie enthalten, welche die Asche bildet. Man muß daher für die gemeine Holzkohle nur 0,93 der obigen Zahl, oder 7268 annehmen, welche der von Laplace und Lavoisier erhaltenen sehr nahe steht.

304. Das Verhältniß der Wärme, welche von den Holzkohlen und welche von dem Nußbaumholze entwickelt worden ist, beträgt nach Bull 15 zu 6,40, und die Differenz daher ungefähr 2,34. Nimmt man daher für das Holz die Zahl 3500, so müßte für die Kohle die Zahl 8190 folgen, eine Zahl, die jedoch gegen die Resultate der directen Versuche viel zu hoch ist. Obgleich die Experimente von Marcus Bull nach

einem sehr großen Maaßstabe gemacht worden sind, so dürfen wir doch um so weniger eine so hohe Zahl zulassen, da die mittelst verschiedener anderer Calorimeter erhaltenen Resultate weit mehr Wahrscheinlichkeit für die Kohle als für das Holz zeigen. Meines Erachtens nähert man sich sehr der Wahrheit, wenn man die Zahl 7300 annimmt, welche der von Laplace und Lavoisier erhaltenen und den aus den letzten Experimenten von Despretz hervorgegangenen sehr nahe steht.

305. Wir nehmen daher 7300 für die Heizkraft der Holzkohle an.

306. Die relativen Werthe verschiedener Kohlen, bei gleichem Volum und wie sie gewöhnlich in den Handel kommen, haben nach Bull folgendes Verhältniß:

Kohlen vom Nußbaum	166
Kohlen vom Ahornbaum	114
Kohlen von der Eiche	106
Kohlen von der Fichte	75

Diese Zahlen sind der specifischen Dichtigkeit dieser verschiedenen Kohlen proportional.

307. Strahlungsvermögen. Es bleibt nun noch das Verhältniß der strahlenden Wärme zu bestimmen übrig.

Folgendes sind die Elemente der Experimente, die ich, mittelst des oben (251) beschriebenen Apparats, über diesen Gegenstand gemacht habe.

Die Temperatur der Atmosphäre war 21°.

Das in das Gefäß gebrachte Wasser hatte eine Wärme von 14°.

Durch die Verbrennung von 56 Grammen Kohle wird sie auf 28° erhoben.

Demnach hatte die von dem Wasser absorbirte Wärmemenge seine Masse um 14° wärmer gemacht.

Die Menge des in dem Apparat eingeschlossenen Wassers betrug, wie bei den Versuchen über das Holz (282), 11,29 Kilogrammen.

Da das Gewicht des Gefäßes stets 2,223 Kilogr. beträgt, so wird die von demselben absorbirte Wärme (282) der

gleich sein, welche 0,244 Kilogr. Wasser zu 14° erwärmen würde.

Folglich ist die ganze, von dem Apparate absorbirte Wärme = (11,29 + 0,244) 14° = 161,47 Wärme-Einheiten, und die Menge der strahlenden Wärme (252) = 161,47 × 1,2 = 194.

Nun sahen wir (305), daß die ganze von 1000 Grammen Kohle entwickelte Wärme 7300 Einheiten betrug, woraus hervorgeht, daß 56 Grammen 408 hervorbringen mußten.

Demnach verhält sich die durch die Strahlung verbreitete Wärme zu der ganzen Wärmemenge = 194 : 408 = 1 : 2,10; und die Menge der strahlenden Wärme verhält sich zu der durch den warmen Luftstrom hinweggeführten = 2,1 — 1 : 1 = 1,1 : 1.

308. Demnach verhält sich die Menge der strahlenden Wärme der Kohle zu der von dem warmen Luftstrome hinweggeführten = 5 : 6. Dieses Resultat steht weit über dem, welches man bis jetzt über die strahlende Wärme zu erhalten geglaubt hat, allein ich habe die Versuche mehrere Male wiederholt und stets ähnliche Resultate erhalten.

309. Die Versuche sind mit weißglühenden Kohlen angestellt, die auch in diesem Zustande gewogen worden sind. Einmal war nicht die ganze Kohle glühend, und ich erhielt ein fast um ⅓ schwächeres Resultat, es glühete aber auch wenigstens ⅓ der Oberfläche der Kohle nicht.

Dies Verfahren erfordert eine kleine Correction in Beziehung auf die zu Anfang des Versuchs schon in der Kohle vorhandene Wärme; allein man kann dieselbe leicht berechnen. Die specifische Wärme der Kohle beträgt 0,26; nimmt man nun an, daß die Temperatur der Kohle 500° betrage, so würden die 56 Grammen Kohle, die nur zu berücksichtigen sind, eine Wärmemenge enthalten, die fähig ist, 1 Gramme Wasser um 500 × 56 × 0,26 = 7280°, oder 1 Kilogr. Wasser um 7,28°, oder endlich die ganze Menge des in dem Apparat enthaltenen Wassers von 11,29 Kilogr. um 0,6° zu erwärmen.

Demnach kann der Irrthum höchstens 0,04 betragen. Nimmt man nun 13° für die Differenz der Temperatur statt 14°, so findet man, daß sich die Menge der strahlenden Wärme zu deren ganzen Menge = 1 : 2,41 verhalte.

Ich glaube, daß man sich nicht weit von der Wahrheit entfernt, wenn man annimmt, daß das Strahlungs-Vermögen der Kohle $\frac{1}{3}$ der ganzen Wärme zerstreuet; obgleich dies ebenfalls nur ein annäherndes Resultat ist.

Neuntes Kapitel.

Von den Stein- und Braunkohlen [1]).

310. Die Mineralogen unterscheiden bei den kohligen Mineralien die Braunkohle, die Steinkohle oder die Schwarzkohle und die Glanzkohle oder den Anthracit (Kohlenblende). Der Uebergang dieser verschiedenen Gattungen in einander ist so merklich, daß es häufig an einem Kennzeichen fehlt, welches keinen Zweifel in der Richtigkeit der Bestimmung übrig ließe. Der braune und der schwarze Strich, so wie die verschiedene Stärke des Glanzes, können nicht als unfehlbare Kennzeichen angesehen werden. Aber auch selbst in der chemischen Zusammensetzung stehen sich die Braunkohle und die Steinkohle, so wie die Steinkohle und der Anthracit so nahe, daß der Mangel an äußern Unterscheidungs-Merkmalen durch die Analyse nicht ersetzt werden kann. Deshalb wird es auch schwerlich jemals gelingen, die kohligen Mineralsubstanzen so zu classificiren, daß mit der angewiesenen Reihe im System auch zugleich das Verhalten und die Eigenschaften der Kohlenart angedeutet wären. Die meisten Mineralogen unterscheiden drei Gattungen oder Species: 1) An-

---

[1]) Dieses Kapitel ist fast gänzlich umgearbeitet und sehr erweitert, wobei ich besonders die unten näher bezeichneten Arbeiten von Karsten benutzt habe. H.

thracit; 2) Steinkohle, mit den Abänderungen: Pechkohle, Schieferkohle, Blätterkohle, Grobkohle, Kannelkohle; 3) Braunkohle, mit den Abänderungen: bituminöses Holz, gemeine Braunkohle, Gagat, Erdkohle, Papierkohle. — Mohs unterscheidet zwei Species, die harzige und die harzlose Steinkohle, und rechnet zu ersterer die Stein- und Braunkohlen, und zu letzterer den Anthracit.

Die Stein- und Braunkohlen sind braun und schwarz von Farbe, haben Fettglanz, bituminösen Geruch, eine geringe Härte, und ihr specifisches Gewicht ist = 1,2 bis 1,5. Die hauptsächlichsten Bestandtheile sind Kohle, Bitumen und flüchtige Oele; außerdem enthalten sie auch geringe Mengen von Eisenoxyd und Schwefeleisen, von schwefelsaurem Kalk und Thon, von Kieselerde ꝛc. Diese verschiedenen Substanzen finden sich in sehr verschiedenen Verhältnissen, letztere jedoch nur in wenigen Procenten.

311. Die Produkte der vollständigen Verbrennung der Steinkohlen bestehen lediglich aus Wasserdämpfen, Kohlensäure, aus ein wenig Schwefelsäure und aus einer sehr geringen Menge von Stickstoff. Der Wasserdampf kommt von dem Wasserstoff, die Kohlensäure von dem Kohlenstoff, die Schwefelsäure von dem Schwefel, der fast stets in der Steinkohle in größerer oder geringerer Menge enthalten ist; der Stickstoff endlich von einer geringen Menge animalischer Materie, die ebenfalls in den Steinkohlen vorhanden ist. Da aber die Verbrennung selten vollkommen ist, so entwickelt sich unter andern auch Rauch, welcher sehr zertheilten Kohlenstoff und flüchtiges Oel enthält.

312. Die Entstehung der Steinkohle ist der Gegenstand vieler geologischen Untersuchungen gewesen. Einige Naturforscher sehen dies Brennmaterial als die Produkte der Zersetzung der weichen Theile jener ungeheuren Menge organischer Körper an, deren Reste sich überall in dem festen Theile der Erde finden. Andere betrachten die Steinkohlen als die letzte Umänderung des Holzes, welches nach und nach in den Zustand des fossilen und des bituminösen Holzes des Lignits, des Ga-

gats und endlich der wirklichen Steinkohle übergeht. Nach diesen Hypothesen begreift man nur nicht, wie die zahlreichen Reste organischer Körper, die man in den Steinkohlenflötzen antrifft, der Ursach, welche diese letztern gebildet, haben widerstehen können; auch haben directe Versuche noch nicht gezeigt, daß die organischen Körper durch eine von selbst erfolgende Zersetzung Bitumen geben.

Herr Geheimer Oberbergrath Dr. Karsten in Berlin, dem wir eine so klassische Arbeit über die kohligen Substanzen des Mineralreichs verdanken, sagt: »Nicht bloß der Torf, die Braunkohlen und die Steinkohlen, sondern sehr wahrscheinlich auch der wahre Anthracit und der natürliche Graphit sind Pflanzenfasern, die sich durch einen eigenthümlichen innern Gährungsproceß umgewandelt haben.«

»Die Umänderung der Pflanzenfasern ist weder durch Zutritt von fremden Körpern, z. B. von Säuren, noch durch die Wirkung des Feuers und der Hitze bewirkt worden, weil fast ganz andere Produkte, die mit der künstlich bereiteten Holzkohle Aehnlichkeit haben müßten, entstanden wären.«

Abgesehen von diesen Hypothesen, führen die Beobachtungen auf folgende Punkte:

1) daß die Steinkohlen gleichzeitig mit und nach dem Auftreten organischer Körper gebildet worden sind;

2) daß dieses Brennmaterial, als es abgesetzt oder gebildet wurde, flüssig und homogen war, welches aus der Art, wie es die Form der Schichten des Grundgebirges angenommen hat, hervorgeht;

3) daß die Ursache, welche sie abgesetzt oder gebildet hat, an einem und demselben Orte mehrere Male und unter fast gleichen Umständen wiedergekehrt ist;

4) daß diese Ursache überall auf der ganzen Erde fast dieselbe war, indem die Steinkohlenflötze in ihrer Structur und in ihrem Vorkommen fast gleiche Erscheinungen zeigen;

5) daß diese Flötze ohne heftige Revolutionen, sondern im Gegentheil mit Ruhe abgesetzt worden sind, weil die in ihnen vorkommenden organischen Körper oft ganz erhalten, und

weil die Pflanzenabdrücke in dem die Steinkohlen begleitenden Schieferthon entwickelt und weder zerquetscht, noch zerknickt sind.

Von allen Brennmaterialien sind die Steinkohlen und Braunkohlen am häufigsten auf der Erdoberfläche verbreitet und werden auch am meisten angewendet. Fast alle Hüttenwerke in Großbritannien, und ein großer Theil der in Frankreich, Schlesien ꝛc. vorhandenen, werden mit Steinkohlen betrieben, und wie bedeutend ist ihre Verwendung bei den Dampfmaschinen, in dem Fabrik- und Gewerbswesen überhaupt und zum häuslichen Gebrauche?

313. Die kohligen Substanzen des Mineralreichs gehören fast allen Zeiträumen der Erdbildung an. Der Anthracit findet sich in den Uebergangsgebirgen, auf Gängen in Thonschiefer und Grauwacke, nesterweis im Trapp und Porphyr ꝛc. Er kann nur wenig benutzt werden.

314. Die Haupt-Steinkohlen-Formation tritt auf der Gränze der Uebergangs- und Flötzgebirge auf und hat hier folgende, meist sehr constante Zusammensetzung. In der untern Bildung, die zunächst der Grauwacke und dem Bergkalke folgt, herrscht ein wenig fester Thonschiefer fast stets übergehend in Alaun-, Dach-, Kieselschiefer, Schieferthon und Jaspis, wechsellagernd mehr oder weniger mit dunkeln, dichten, bituminösen, in schwache Schichten getheilten Kalkstein, seltner mit kleinen Steinkohlenflötzen. In der mittlern Bildung herrscht Kohlensandstein mit thonigem Cemente, meist weicher als Grauwacke, härter aber als der die Kohlen begleitende Sandstein, stets wechselnd mit Schieferthon; untergeordnet erscheint häufig thoniger Sphärosiderit (eine Abänderung des Spatheisensteins). In der obern Bildung wechsellagert der meist weiche Kohlensandstein häufig mit Schieferthon und Steinkohlenflötzen; ersterer geht in Kohlen- und Brandschiefer, in magern Thon und Sandstein über.

315. In diesem Gebirge kommen die Steinkohlen fast stets in mehrern über einander liegenden Schichten oder Flötzen vor, deren Anzahl von 2 bis 60, ja selbst bis 120 (Mons)

beträgt. Die Mächtigkeit der Flötze ist nach den Orten sehr ungleich und wechselt von einem Decimeter bis zu zwölf Metres. Diese Flötze wechsellagern nicht allein mit einer oder mit mehrern von den erwähnten Gesteinschichten, sondern diese Wechsellagerung kehrt auch oft und zu mehrern Malen wieder, und unter Beibehaltung fast derselben Mächtigkeit.

Die aufgeführten Gesteinschichten bilden ohne Unterschied das Dach und die Sohle der Steinkohle; jedoch bestehen beide gewöhnlich aus Schieferthon. Die Sohle nur ist zuweilen von einer andern Natur. Der Schieferthon im Dache der Kohlen ist zuweilen mit Bitumen impregnirt, welches bei dem in der Sohle nicht der Fall ist.

Die Gesteine der Formation sind überall geschichtet, bilden stets größere oder kleinere Mulden und Sättel, erscheinen auch wol zickzackförmig, werden öfter durch Spalten (Failles, Stücken) verschoben und von Basalt- und Doleritgängen (Dykes) durchsetzt. Sie enthalten auch Porphyr und Trappgesteine in Stücken und Kegeln, und dann ist die Regelmäßigkeit des Steinkohlengebirges gewöhnlich gestört; welche nur ohne diese Massen vollkommen ist.

316. Außer dieser Haupt- oder eigentlichen Steinkohlenformation findet man auch untergeordnete Steinkohlenlager im Gebiete der Liasformation, z. B. bei Helmstedt, Bückeburg, Höganäs in Schonen, und eine, jedoch meist sehr schlechte, Kohle (Lettenkohle) im Muschelkalke und Keuper.

317. Die Braunkohle bildet in der auf die Kreide folgenden Sand- und Thonformation mächtige, weit verbreitete, theils stetig fortsetzende, theils unterbrochene Ablagerungen, mit eingesprengtem Gyps und Eisenkies.

Jedoch würde es zu weit führen, näher in die mineralogischen und geognostischen Verhältnisse der Steinkohlen einzugehen, weshalb ich auf die mineralogischen Lehrbücher von Mohs, Beudant, Naumann ꝛc., auf die geognostischen von d'Aubuisson und Bakewell, so wie auf Villefosse's Mineralreichthum, und auf Schultz's Grund- und

Aufrisse im Gebiete der Bergbaukunde, Berlin 1823. I. 108, verweise.

318. Diejenigen Länder, in denen die meisten Steinkohlen vorkommen, sind England, die Niederlande, Frankreich, Rheinpreußen und Schlesien. In Frankreich sind jetzt 236 Steinkohlen-Bergwerke im Betriebe, die jährlich 10 Millionen metrische Centner Steinkohlen Ausbeute geben. Die Production der Steinkohlen-Bergwerke Großbritanniens beträgt an 400 Millionen Centner jährlich, und die der Preußischen Monarchie 28 Millionen preußische Centner.

319. Verschiedene Varitäten der Steinkohle. Die Abänderungen der Steinkohle sind sehr zahlreich; allein hinsichtlich ihres Gebrauchs als Brennmaterial kann man besonders drei unterscheiden.

320. 1° Fettkohle, Smith-coal der Engländer. Diese ist leicht zerreiblich, sehr brennbar, und brennt mit einer weißen Flamme; im Feuer blähet sie sich auf und scheint zu schmelzen, backt leicht zusammen und hinterläßt nur einen geringen Rückstand. Diese Kohle, die man gewöhnlich unter dem Namen Backkohle kennt, enthält viel Bitumen. Sie ist sehr vortheilhaft zur Gaslicht-Bereitung, indem sie viel Gas giebt und voluminösen Koaks zurückläßt. Daher ist sie zur Verkoakung und auch im Schmiedefeuer sehr anwendbar, allein beim Verbrennen auf dem Rost zeigt sie einige Unbequemlichkeiten, denn man muß sie oft zerschlagen, um der Luft Zutritt zu verschaffen.

Es gehören hieher die Steinkohlen von Rive-de-Giér, St. Etienne und von Givors in Forez, von Fenil in Bourbonnais, von Litry in der Normandie, von Newcastle und vielen andern Punkten in England, aus dem Plauenschen Grunde bei Dresden ꝛc.

321. 2° Trockne Kohle. Diese Abänderung von Steinkohlen ist dichter als die vorhergehende; sie ist fest und von einer minder dunkel-schwarzen Farbe, die sich dem Eisengrauen nähert; sie brennt schwieriger, ohne zu backen, und hinterläßt nur einen geringen Rückstand; die Flamme ist

bläulich; sie ist weit schwefelhaltiger, als die vorhergehende.

In den Schmelzöfen kann diese Kohle sehr gut angewendet werden, allein zur Gaslicht-Bereitung ist dieselbe nicht gut anwendbar, weil sie zu schwefelig ist, zu wenig Bitumen enthält, und weil sie Koaks von geringem Volum, die bloß calcinirt oder pulverförmig sind, giebt.

Die trocknen Kohlen, zu welchen die in der Gegend von Marseille, Aix, Toulon und Fresnes in Frankreich gerechnet werden müssen, sind so wenig bituminös, daß sie fast ohne allen Rauch verbrennen.

322. 3° Dichte Kohle (Cannel-coal). Diese hat eine etwas grauliche und matte schwarze Farbe, ist fest, dicht, sehr leicht; sie läßt sich schneiden und poliren, brennt leicht mit einer weißen, langen, lichtähnlichen Flamme, woher auch ihr englischer Name kommt; sie hinterläßt ungefähr 0,03 Asche. Diese Kohle hat viel Analogie mit dem Gagat, entwickelt aber beim Brennen nicht den stechenden und unangenehmen Geruch, den diese letztere verbreitet.

Bis jetzt ist diese Kohle nur in Lancashire und zu Wigan und Kilkenny in Irland häufig vorgekommen.

323. Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht verschiedener, von dem Geheimen Oberbergrath Dr. Karsten angestellten Analysen von Kohlen, und zeigt demnach die Zusammensetzung verschiedener Abänderungen, die sich auf die beschriebenen zurückführen lassen.

Bezeichnung der Steinkohlen-Varietäten.	Specifisches Gewicht.	Zusammensetzung von 100 Theilen Steinkohle.				Beschaffenheit der Koaks.
		Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff.	Erdige Theile oder Asche.	
N° 1. Pechschwarzer Gagat, in die Pechkohle übergehend, von Uttweiler, nördlich vom Siebengebirge.....	1,2081	77,100	2,546	19,354	1,000	Sandkohle.
N° 2. Schieferkohle, von der Leopoldinengrube bei Brzenskowitz in Oberschlesien.....	1,3098	73,880	2,765	20,475	2,880	Sandkohle.
N° 3. Dichte Schieferkohle von der Königsgrube bei Beuthen in Oberschlesien...	1,2846	78,390	3,207	17,773	0,630	Sinterkohle.
N° 4. Schieferkohle, die in die Pechkohle übergeht, von der Grube Wellesweiler in Saarbrücken.....	1,2677	81,323	3,207	14,470	1,000	Backkohle.
N° 5. Mürbe Blätterkohle, v. der Grube Vereinigte Sälzer und Neuack im Essen-Werdenschen Bergamte.....	1,2757	88,686	3,207	8,113	0,001	Sehr aufgeblähete Backkohle.
N° 6. Blätterkohle, fast glasglänzend und härter als N° 5, von der Gr. Nottekampsbank in demselben Bergrevier.....	1,3065	92,101	1,106	5,793	1,000	Sinterkohle.
N° 7. Variet. wie N° 6, nur härter, von der Grube Hundsnocken in demselb. Bergrev.	1,3376	92,02	0,44	2,94	0,60	Sandkohle.
N° 8. Cannelkohle, a. England	1,1652	74,47	5,42	19,61	0,50	Sehr aufgeblähete Backkohle.
N° 9. Kohle, die zwischen der Blätter- und der Pechkohle steht, von Newcastle in England.....	1,2563	84,263	3,207	11,667	0,863	Backkohle.
N° 10. Weiche Blätterkohle, von Eschweiler im Dürener Bergamte.....	1,3005	89,161	3,207	6,4516	1,18	Sehr aufgeblähete Backkohle.

Die Eintheilung der Steinkohlen in Sand-, Sinter- und Backkohlen rührt daher, ob sie, wenn man sie im fein-pulverförmigen Zustande in einem bedeckten Gefäße der Glühhitze so lange aussetzt, als noch Dämpfe entweichen, entweder als ein unzusammenhängendes Pulver, oder als eine

gefrittete, oder als eine aufgequollene und schaumige Masse, zurückbleiben.

324. Man ersieht aus der obigen Tabelle, daß die Kohlen, welche die Eigenschaft besitzen, sich aufzublähen, und viel Koaks zu geben, alle mehr Wasserstoff, als Sauerstoff enthalten. Diese Steinkohlen geben viel Flamme, und entwickeln mehr Wärme, als die andern, weil der Wasserstoff bei gleichem Gewicht mehr, als der Kohlenstoff giebt. In dem Maaß, daß der Wasserstoff abnimmt, nimmt auch die Brennbarkeit der Steinkohlen ab, und je weniger Flamme geben sie; diese letztern können nur da mit Vortheil angewendet werden, wo eine geringe Flamme erforderlich ist und wo sie auf kurzer Distanz wirken sollen. Auch dienen sie dazu, um beim Brennen auf dem Rost die backenden Kohlen damit zu vermengen, um das Backen zu vermindern und den Zutritt der Luft zu erleichtern [1]).

325. Heizvermögen. Die Wärmemenge, welche die Steinkohle bei ihrer Verbrennung entwickelt, ist natürlich nach ihrer Zusammensetzung verschieden. Im Allgemeinen geben diejenigen am meisten Wärme, die gegen den Sauerstoff eine überwiegende Menge Wasserstoff enthalten. Nach den Versuchen von Hassenfratz enthält 1 Kilogr. Steinkohle 5740 bis 7150 Wärme-Einheiten.

326. Nach Clément giebt eine Steinkohle von mittlerer Qualität, die aus

Kohlenstoff	80,0
Wasserstoff	3,5
Sauerstoff	13,5

besteht, bei ihrer Verbrennung 6010 Wärme-Einheiten.

Es ist mir nicht bekannt, ob Clément diese Zahl als das Resultat von Experimenten angiebt, allein sie kommt auf eine bemerkenswerthe Weise mit den Wärmemengen überein, welche der Kohlenstoff und der Wasserstoff im Uebermaße für sich geben.

---

[1]) Die Arbeiten Karsten's und Anderer über die Steinkohlen werden zu Ende dieses Kapitels näher aufgeführt werden. H.

Das Wasser besteht auf 100 Gewichtstheilen aus 88,9 Sauer- und aus 11,1 Wasserstoff. Da nun folglich 13,50 Sauerstoff 1,68 Wasserstoff absorbiren, so werden in der fraglichen Kohle nur 3,50 — 1,68 = 1,82 Wasserstoff frei bleiben.

Oder da 80 Kohlen 80 × 7050 = 56400
und 1,80 Wasserstoff 1,80 × 22125 = 39825

603825

geben; so würde die Heizkraft nach der Theorie = 6038 sein.

Nach den Versuchen, die Bull mit sieben verschiedenen Steinkohlenarten gemacht hat, beträgt die mittlere entwickelte Wärme nur $^2/_3$ von der, die durch dasselbe Gewicht Holzkohlen hervorgebracht worden ist, so daß die das Heizvermögen ausdrückende Zahl nur 4867 betragen würde. Diese Zahl ist viel zu gering, denn sie bezeichnet selbst nicht einmal die Wärme, welche die in der Kohle befindlichen Koaks entwickeln. Wahrscheinlich wurden die Kohlen in dem Apparate schlecht verbrannt, oder sie waren sehr unrein.

Dem sei nun, wie ihm wolle, so nehmen wir die Zahl 6000 für die Wärme-Einheiten an, welche die Kohle von mittlerer Qualität giebt.

327. Strahlungsvermögen. Ueber die Strahlung der Steinkohlen habe ich keine Versuche gemacht, weil es sehr schwierig ist, kleine Mengen derselben zu verbrennen, allein andere Versuche lassen mich gar nicht daran zweifeln, daß sie nicht stärker sei, als die der Holzkohlen.

Anmerkungen zum neunten Kapitel[1]). Je reicher an Kohlenstoff die Steinkohle ist, desto mehr Hitze entwickelt sie beim Verbrennen, weil sie, im Verhältniß mit dem größern Kohlenstoffgehalte, mehr Sauerstoff zur Zersetzung erfordert. Dagegen nimmt aber in eben diesem Verhältnisse die Entzündbarkeit ab, so daß zum Verbrennen solcher Kohlen ein starker Luftstrom erforderlich ist. Dadurch sowol, als durch

---

[1]) Die Unvollständigkeit dieses so wichtigen Kapitels machte die folgenden Nachträge durchaus nothwendig. H.

den Umstand, daß eine an Sauer- und Wasserstoff sehr arme Kohle nur wenig Flamme giebt, wird der erste Vortheil so sehr aufgehoben, daß die Sandkohlen mit großem Kohlenstoffgehalt gegen die Sinter- und Backkohlen mit großem Gehalt an Kohlenstoff in allen den Fällen zurückstehen müssen, wo die Erhitzung durch brennende Luftarten, oder durch Flamme, bewirkt werden soll. Aber in solchen Fällen, wo die Kohle mit dem zu glühenden oder zu schmelzenden Körper unmittelbar in Berührung kommt, z. B. beim Kalk- und Ziegelbrennen, beim Erzrösten, beim Schweißen in Schmiedefeuern, leisten sie vortreffliche Dienste. Vermischt mit sehr backenden Kohlen mit großem Kohlenstoffgehalt, würden sie auch zu Flammenfeuerungen sehr gut anwendbar sein. Dazu eignen sich die Backkohlen allein, wenigstens die sehr stark backenden Kohlen, deshalb nicht, weil sie sich auf dem Rost zu stark aufblähen, und den Zutritt der Luft abhalten, oder vielmehr den Abzug der zersetzten Luft erschweren, und so den Luftzug verhindern; und in solchen Fällen, wo eine große Hitze hervorgebracht werden soll, vorzüglich deshalb nicht, weil sie zwar eine schnelle, aber keine anhaltend starke, Schweißhitze geben würden. Eine ganz vorzügliche Kohle zu diesem Zwecke ist die Sinterkohle; allein noch weit anwendbarer dazu ist die in Backkohle übergehende Sinterkohle. — Zu allen häuslichen Feuerungen, und zu allen solchen, bei welchen der Grad der Wassersiedhitze nicht bedeutend überschritten werden darf, ist die Backkohle mit großem Kohlenstoffgehalt ganz besonders geeignet. Man wendet sie auch in manchen Fällen zum Ausschweißen des Eisens und des Stahls vorzugsweise deshalb an, weil sie ein natürliches Gewölbe bildet, unter welchem die Schweißhitze gegeben werden kann, ohne das Eisen dem Windstrom des Gebläses auszusetzen.

Auch die Sinterkohle, mit einem geringen Kohlengehalt, ist eine ganz vorzügliche Kohle, um schnelle und zugleich anhaltende Hitze zu entwickeln. Kommt es weniger auf starke Hitze an, als auf vollständige Benutzung der Flamme, so wird man sich auch der Backkohlen, mit geringerem Kohlen-

stoffgehalt, mit sehr großem Nutzen bedienen. — Die Sandkohlen, mit wenigem Kohlenstoffgehalt, sind die schlechtesten von allen Steinkohlen.

Zur Gaserzeugung für die Gaserleuchtung wird man derjenigen Steinkohle den Vorzug einräumen müssen, bei welcher das Verhältniß des Wasserstoffes zum Kohlenstoff das größte, und zugleich das Verhältniß des Kohlenstoffes zum Wasserstoff und Sauerstoff das geringste ist, d. h. der backendsten Steinkohle mit dem geringsten Kohlenstoffgehalt.

Dies Verhalten der Kohlenarten im Allgemeinen kann jedoch durch andere Umstände sehr modifizirt werden. Die Faser- oder mineralische Holzkohle, oder der faserige Anthracit, welche fast bei keiner Steinkohle fehlt, und welche als eine Sandkohle, mit überwiegend großem Kohlenstoffgehalt, schon an sich sehr schwer entzündbar ist, wird es durch ihr Gefüge, welches den Luftzutritt verhindert, noch mehr. Bei guten Back- und Steinkohlen wird das Hinderniß, welches aus einer Beimengung von vieler Faserkohle entsteht, weniger bemerkbar; eine Sandkohle kann dadurch aber völlig unbrauchbar werden, weil die Masse zu dicht und der Luftzug dadurch ganz verhindert wird, wenn die Kohle auf dem Rost verbrannt werden soll. — Ein anderes Hinderniß entspringt aus dem Erdengehalte, welcher der Kohlenmasse beigemengt ist. Eine Kohle, die sehr viel Asche hinterläßt, wird unbrauchbar, oder entwickelt wenigstens nur langsame und schwache Hitze, weil die Asche den Zutritt der Luft abhält. Dies Hinderniß würde auch dann eintreten, wenn die Kohlenmasse selbst zwar wenig Asche hinterläßt, wenn aber das Kohlenflötz mit Lettenlagen, oder mit dünnen Schichten von Schieferthon durchzogen ist. Selbst die durch Klüfte und Absonderungsflächen stark zerstückelte Kohle kann, wenn sie eine Sandkohle ist, bloß durch diesen Umstand unbrauchbar werden, weil sie beim Verbrennen in viele kleine Stücke zerfällt, die nicht an einander backen, und sich dadurch auflockern, sondern so dicht über einander liegen, daß der Luftstrom keinen Durchgang findet.

Um die Anwendbarkeit einer Steinkohle zum Verkoaken zu beurtheilen, müssen die backenden und die nicht backenden Kohlen einer besondern Betrachtung unterworfen werden, indem die Backkohlen im Allgemeinen vor den Sinterkohlen, und noch mehr vor den Sandkohlen, den großen Vorzug besitzen, daß sie durch die Ungleichartigkeit der Kohlenmasse selbst, durch den Zerklüftungszustand derselben, und durch die Trennung der Kohlensubstanz durch Faserkohle, zum Verkoaken nicht unbrauchbar werden, weil die vor dem Verkohlen getrennten einzelnen Theile, woraus die Kohlenmasse besteht, bei dem Verkohlen zusammenschmelzen, und daher Koaks in großen Stücken liefern können. — Alle Sinterkohlen, noch mehr aber alle Sandkohlen, deren Masse zwar gleichartig ist, welche aber durch feine Risse und Klüfte sehr zerspalten sind, eignen sich durchaus nicht zum Verkoaken, weil sie bei der Verkohlung zu kleinen Stücken zerfallen, die in Schachtöfen nicht gebraucht werden können. Sind die Klüfte mit fremden Beimengungen ausgefüllt, oder wird die Kohlenmasse durch Lagen von Faserkohle häufig unterbrochen, so werden die Kohlen zum Verkoaken noch unbrauchbarer.

Die Sandkohlen, mit einem großen Kohlengehalt von mehrern 90 Procenten, würden sich schwerlich verkoaken lassen, ohne dabei zum großen Theil zu verbrennen. Bei diesen Kohlen bedarf es aber auch des Verkohlungsprozesses nicht, weil sie so wenig Sauer- und Wasserstoff enthalten, daß man sie als natürliche Koaks betrachten, und als solche anwenden kann. — Gehören die Sinter- und Sandkohlen zu den Steinkohlen mit geringerem Kohlenstoffgehalt, sind sie also aus der glänzenden und aus der matten Kohlenart zusammengesetzt; so eignen sie sich nur zum Verkoaken, wenn beide Kohlenarten innig mit einander verwachsen, und nicht aus wechselnden Schichten von beiden zusammengesetzt sind, indem sie sonst zerfallen, und dann ein mechanisches Hinderniß bei der Anwendung darbieten. — Dagegen eignen sich alle Sinter- und Sandkohlen mit einem geringeren Kohlengehalt, die wenigstens in 4 bis 5 Zoll dicken Lagen gleichartig bleiben,

und deren Masse weder durch abgesonderte Schichten von Kohlen der glänzenden Art, noch durch Schichten von Faserkohle unterbrochen wird, und welche auch nicht sehr zerklüftet sind, sehr gut zum Verkoaken, weil sie große Koaks geben. Jedoch sind sie fest und dicht, und erfordern daher ein starkes Gebläse. Es muß dabei noch besonders auf den Aschengehalt der Kohle Rücksicht genommen werden, weil ein großer Aschengehalt auch diejenigen Kohlen, welche beim Verkohlen große Koaks geben, zum Verkoaken unbrauchbar machen kann. — In Backkohlen übergehende Sinterkohlen vereinigen sich beim Verkoaken zu größern Massen, wenn sie auch vorher unzusammenhängend waren, und sind also sehr brauchbar.

Bei den backenden Kohlen treten alle die eben erwähnten Hindernisse nicht ein, weshalb sie, wenn ein zu großer Aschengehalt nicht etwa nachtheilig wird, zum Verkoaken immer anwendbar bleiben, es sei denn, daß sie stark mit Faserkohlen durchzogen, oder stark zerklüftet sind, welches indeß nur selten der Fall ist.

Das überwiegende Verhältniß des Wasserstoffs zum Sauerstoff in den Backkohlen bewirkt, daß die Steinkohle in dem Augenblicke, wo die Zersetzung erfolgt, in einen halbgeschmolzenen Zustand übergeht, so daß die erweichte, und zum Theil teigartig gewordene Masse, durch die sich entwickelnden Dämpfe und Gasarten in die Höhe getrieben, nach allen Richtungen ausgedehnt, und oft blasenartig aufgeblähet wird. Dadurch unterscheiden sich die Backkohlen wesentlich von den Sinter- und Sandkohlen, von welchen jedes vor der Verkohlung nicht unmittelbar zusammenhängende Stück auch nach dem Verkohlen für sich allein erscheint. Aber es findet von der, zu einer einzigen Schaumblase aufgetriebenen, bis zu den Koaks, welche die ganze Form der Steinkohle nur mit einer Verminderung des Volums behalten, also von der backendsten Kohle bis zu der dürrsten Sandkohle, ein ganz allmähliger Uebergang durch die Sinterkohle statt. Eine beim Verkohlen in einen geschmolzenen Zustand übergegangene Kohle sollte, wegen der glatten Beschaffenheit der Oberflächen, schwerer

entzündbar sein, als eine nicht geschmolzene Kohle mit rauhen Flächen. Dies ist auch wirklich der Fall unter der Muffel eines Probirofens. Ganz anders ist aber das Verhalten, wenn eine Masse von Koaks über einander gehäuft, durch natürlichen Luftzug, oder durch einen künstlich hervorgebrachten Luftstrom verbrennen, und nicht bloß durch die Einwirkung der glühend heißen Luft auf die Oberfläche nach und nach zerstört werden soll. Die Backkohlen erhalten die Masse, wegen ihres ausgedehnten Zustandes, so locker, daß der Durchgang der zersetzten Luft keinen Augenblick gestört und aufgehalten wird. Die Sinterkoaks bilden schon eine dichtere und festere Masse, und bei den Sandkoaks werden, wenn sie entweder gleich anfänglich sehr zerkleinert waren, oder wenn sie durch das nach und nach erfolgende Verbrennen ein geringeres Volum erhalten, alle Zwischenräume so verstopft, daß die zersetzte Luft keinen Ausgang mehr findet, und daß der Verbrennungsprozeß nicht aus Mangel an zutretender Luft, sondern durch aufgehaltenen Luftzug unterbrochen wird.

Es scheint daher, daß, aus den so eben entwickelten Gründen, den Koaks aus backenden Kohlen unbedingt der Vorzug vor den Koaks aus Sinterkohlen, und besonders aus Sandkohlen, gegeben werden müsse. Dies wird indessen nur bei den Koaks aus den nicht stark backenden Kohlen der Fall sein; denn die sehr stark backenden Kohlen können eben dadurch zur Benutzung als Koaks, wenigstens für gewisse Zwecke, ganz unbrauchbar werden. Die zu stark aufgebläheten Backkoaks zertrümmern sich nämlich, wenn sie in großen Massen über einander liegen, zum Theil schon durch ihr eigenes Gewicht. Stärker wird diese Zerkleinerung herbeigeführt, wenn sie in Schachtöfen, mit den zu schmelzenden oder zu reducirenden Substanzen geschüttet, verbrannt werden sollen. Solche Koaks können nur in niedrigen Schachtöfen, wo sie keinen starken Druck erleiden, und dann immer mit einem sehr günstigen Erfolge, angewendet werden. Eine Backkohle, die den Uebergang in Sinterkohle macht, oder eine Backkohle, die sich nur schwach aufbläht, muß daher in aller Rücksicht für die beste

zur Koaksbereitung angesehen werden, wenn die Koaks zur Benutzung in hohen Schachtöfen bestimmt sind. Eine Sinterkohle darf nicht viele Ablosungen besitzen, und eine Sandkohle ist ganz unbrauchbar, wenn sie nicht in großen, zusammenhängenden Massen vorkommt.

Eine etwas backende Kohle hat immer einen wesentlichen Vorzug vor den bloß sinternden, und noch mehr vor den Sandkohlen, weil die natürlichen Zerklüftungen der Steinkohlen durch die backende Eigenschaft ganz unnachtheilig, ja sogar die durch Faserkohle und durch fremde Beimengungen auf den Kluftflächen veranlaßten Trennungen der Steinkohlenmasse unschädlich gemacht werden.

Das Gesagte bezieht sich auf die in Stücken aus der Grube kommenden und zum Verkohlen bestimmten Steinkohlen. Es fallen aber bei den Gewinnungsarbeiten in der Grube viele kleine Kohlen, auch giebt es Flötze, welche Kohlen von sehr milder und leicht zerfallender Beschaffenheit führen, so daß die Kohle kaum in großen Stücken, sondern größtentheils nur im zerkleinerten Zustande gewonnen werden muß. Daß diese kleinen Kohlen nur dann zum Verkoaken geeignet sind, wenn die Steinkohle eine Backkohle ist, und daß die Koaks aus den zerkleinerten Sinter- und Backkohlen, für den Gebrauch in Schachtöfen, durchaus unbrauchbar sein werden, bedarf keiner Erwähnung.

Aber dieselben Gründe, aus welchen die Koaks aus den Backkohlen in Stücken häufig sehr unrein ausfallen, finden bei den Koaks aus den zerkleinerten Sandkohlen in einem noch viel höhern Grade statt. Solche Koaks aus zerkleinerten Steinkohlen lassen sich nur anwenden, wenn man die völlige Ueberzeugung haben kann, daß die kleine Kohle, durch Beimengungen von Letten, Schieferthon und Faserkohle, in der Grube nicht verunreinigt worden ist, und wenn sich die kleinen Kohlen dabei nicht zu stark aufblähen, welches letztere, wenigstens in einigen Fällen, ihre Anwendbarkeit vermindern würde.

Es sind folgende Werke zu citiren, welche besonders die Anwen-

dung der Steinkohlen abhandeln: Karsten's Eisenhüttenkunde, 2. Aufl. 2. Bd. §. 544 u. ff.; Karsten's Untersuchungen über die kohligen Substanzen des Mineralreichs; Archiv für Bergbau und Hüttenwesen, Bd. XII. S. 1 ꝛc.; Thomson, daselbst Bd. III. S. 167 ꝛc.

Zehntes Kapitel.

Von den Koaks [1]).

328. Die Koaks sind nichts anders als Steinkohlen, denen das gewöhnlich in ihnen enthaltene flüchtige Oel und Bitumen entzogen ist. Man nennt daher den Verkoakungsprozeß mit Unrecht das Abschwefeln.

Die Koaks bestehen fast lediglich aus Kohle und aus den erdigen Substanzen der Steinkohlen, aus denen sie erfolgt sind. Sie brennen fast ganz ohne Flamme; ihre Verbrennung wird nur dann erhalten, wenn sie in großer Menge in einem geschlossenen Heerde befindlich sind; in freier Luft verlöschen sie.

329. Das Verkoaken der Steinkohlen im Großen geschieht entweder in Oefen oder in Meilern. Beim Verkoaken in Oefen hat man in der Regel die Absicht, die sich entwickelnden Dämpfe aufzufangen und zu benutzen.

Weil die Kohle aus der Steinkohle zu ihrer Darstellung eine größere Hitze erfordert, als die Kohle aus dem Holze, weil die Koaks ferner größtentheils dasselbe Volumen behalten, welches die Steinkohlen ha tten, bei backenden Steinkohlen sogar noch an Volum zunehmen, folglich die Nachtheile des Schwindens nicht veranlassen, welche das Verkohlen des Holzes so sehr schwierig machen, und weil die Koaks zugleich, wegen des dichtern Gefüges oder wegen des halbgeschmolzenen Zustandes der Kohle, schwer entzündbar sind, und nicht so

---

[1]) Auch dieses Kapitel ist nach Karsten's Eisenhüttenkunde und nach andern Werken ganz umgearbeitet. H.

leicht verbrennen, als die Holzkohlen; so erfordert das Verkohlen der Steinkohlen nicht so viel Aufmerksamkeit, als das des Holzes, indem ein stärkerer Luftzutritt einen geringern Verlust von Kohle nach sich zieht, wie beim Holze. Einige Steinkohlenarten, nämlich alle zu den Sinter- und Sandkohlen gehörenden Steinkohlen, machen sogar einen stärkern Luftzutritt nothwendig, um das Feuer im Brande zu erhalten. Dennoch ist es aber nöthig, auf diese günstigen Umstände nicht zu sehr zu trotzen, sondern den zu starken Luftzutritt abzuhalten. Die Sandkohlen, mit einem zu großen Kohlengehalt, sind zum Verkoaken in der Regel schon wegen ihrer starken Zerklüftung nicht sehr anwendbar; aber sie werden es noch weniger dadurch, daß sie wegen ihrer Schwerentzündlichkeit einen sehr starken Luftzug erfordern, um gar zu brennen, wobei ein sehr großer Theil der Kohle verbrannt und verascht wird.

Das älteste, jetzt noch hie und da angewendete Verfahren beim Verkoaken besteht darin, daß man die Steinkohlen in runden Meilern von 10 bis 15 Fuß im Durchmesser aufsetzt, ihre Oberfläche mit kleinen Steinkohlen bedeckt und den Meiler oben an der Spitze ansteckt. Auch stellte man die Steinkohlen in langen Haufen, in Gestalt eines nach der Axe durchschnittenen Cylinders auf, um ein größeres Quantum Steinkohlen mit Einemmal verkoaken zu können; allein bei dieser letztern Art fand ein bedeutender Kohlenverlust statt.

330. Bei der Verkoakung der Steinkohlen in langen Haufen, ohne Decke, ist das Verfahren höchst einfach. Man nimmt dazu einen geräumigen Platz, der festen Boden hat und gegen Wasserfluthen geschützt ist. Nachdem der Platz gereinigt und geebnet ist, spannt der Koaker, in der Mitte des Platzes und des zu setzenden Meilers und nach der Länge desselben, eine Schnur aus, und schlägt längs der Linie, welche die Schnur angiebt, in Entfernungen von 2 zu 2 Fuß, oder bei leicht entzündlichen Kohlen auch wol in etwas weiterer Entfernung, 24 Zoll lange Pfähle ein, welche die Punkte bezeichnen, auf denen der Meiler demnächst angezündet werden soll, weshalb man die Entfernungen möglichst gleichmacht.

Dann werden die größten Kohlenstücke zu beiden Seiten der Schnur gegen einander geneigt, aufgestellt, wodurch sich ein natürlicher, in der Mitte des Meilers und nach dessen Länge fortziehender Luftkanal bildet. Je backender und je leichter verbrennlich die Steinkohlen sind, desto mehr muß eine zu große Weite des Kanals vermieden werden, welche feste und schwer entzündliche Sinter= und Sandkohlen schon eher ertragen können. An diese erste Reihe lehnen sich auf beiden Seiten des Meilers die folgenden Reihen von Steinkohlen in immer abnehmender Größe, nach der ganzen Länge des Meilers so an, daß die Zwischenräume soviel als möglich vermieden werden. Die Anzahl der neben einander aufzustellenden Reihen von Steinkohlen hängt von der Breite des Meilers und von der Größe der Steinkohlen ab. In der Regel pflegt man die Meiler 10 bis 12 Fuß breit zu machen; die Länge ist unwesentlich und hängt von dem Platze und dem Koaksbedarfe ab. Die kleinsten Kohlenstücke werden zur Ausfüllung der Zwischenräume und zur Bedeckung des Meilers angewendet. Die Höhe des Meilers beträgt in der Mitte 16 bis 22 Zoll und nimmt gewölbartig nach beiden Seiten zu ab. Je backender die Steinkohlen sind, desto höher kann der Meiler sein, und desto dichter muß man aber auch die Decke machen, um keinen Verbrand zu veranlassen. Harte und schwer entzündbare Kohlen erfordern dagegen niedrige Meiler und keine so dichte Decke.

331. Ist das Setzen des Meilers beendigt, so zieht der Koaker die in der Mitte eingeschlagenen Pfähle heraus, und wirft in die dadurch gebildeten Oeffnungen brennende Steinkohlen, wodurch der ganze Meiler in einer Zeit von 4 bis 6 Stunden in Brand geräth. Während der ganzen Zeit des Brennens hat der Koaker den Meiler gar nicht weiter abzuwarten, sondern nur genau zu beobachten, wo er zu flammen aufhört, und wo sich eine weiße Asche ansetzt. An diesen Stellen sind die Steinkohlen schon verkoakt und die Koaks völlig gar, weshalb sie mit der auf beiden Seiten, von den frühern Bränden, angehäuften Lösche beworfen werden, um das

Feuer dadurch zu ersticken. Daß dies Bewerfen oder Bedecken des Meilers mit Lösche nicht zu früh, aber auch früh genug geschieht, ist eigentlich die einzige Sorgfalt, welche der Koaker auf den Meiler zu verwenden hat. Wie lange der Meiler brennen muß, um völlig bedeckt zu werden, hängt von der Beschaffenheit der Steinkohlen ab, auch hat Witterung, Wind ꝛc. einen Einfluß darauf.

Der mit Lösche zugedeckte Meiler muß, ehe das Feuer ganz erstickt, 3 bis 4 Tage mit seiner Decke stehen bleiben, und dann werden die Koaks von der einen Seite des Meilers mit einem eisernen Rechen nach und nach ausgezogen.

332. Diese Verkohlungsmethode ist zwar einfach aber unvollkommen, weil ein Verlust an Koaks ganz unvermeidlich ist. Bei den Sinter- und Sandkohlen, mit einem mittlern Kohlenstoffgehalt, so wie bei den Backkohlen, welche einen großen Kohlenstoffgehalt besitzen, ist der Verlust am wenigsten bedeutend, und die Koaks aus den Sinter- und Sandkohlen erhalten, wenn sie auch etwas zu stark angegriffen werden, mehr Lockerheit und Ausdehnung (besonders wenn die Meiler nicht zu hoch gesetzt werden), wodurch sie sich bei den Schmelzarbeiten in Schachtöfen besser behandeln lassen. Backende Steinkohlen von mittlerem Kohlengehalt hingegen, welche schon an sich sehr leichte und lockere Koaks geben, erleiden durch dies Verkohlungsverfahren einen großen Verlust, und werden auch von der Flamme ungemein angegriffen. Solche Steinkohlen müssen daher mit mehr Sorgfalt in bedeckten Meilern, oder in Oefen verkoakt werden, in denen die Flamme nicht zum Ausbruch kommt.

In England bedient man sich in neuern Zeiten eines andern, bei sehr zum Backen geneigten Steinkohlen, sehr lobens- und nachahmungswerthen Verfahrens, welches zuerst der verstorbene Wilkinson auf dem großen Eisenwerke Bradley anwendete, und welches darin besteht, die zu verkohlenden Steinkohlen um einen, aus feuerfesten Ziegeln aufgemauerten, trichterförmigen Ofen, der in Fig. 55 Taf. 3 im Aufriß, Fig. 56 im senkrechten Durchschnitte und Fig. 57 im Grundrisse dargestellt worden ist, in einem runden Meiler aufzustellen,

dessen Mittelpunkt der Ofen ist. Dieser Ofen a a hat unten 3 Fuß im Durchmesser, und verläuft sich nach oben zu einer Stärke von 28 Zoll. Die Höhe beträgt 3 Fuß 6 Zoll. In dem Ofen befindet sich ein konischer Schacht c, dessen Durchmesser unten 12 Zoll und oben 6 Zoll beträgt, und in der Mauer des Ofens sind drei über einander liegende horizontale Reihen von 6 und 6 Zuglöchern angebracht, von denen die untersten 6 b 6 Zoll hoch und 4 Zoll breit, und die obersten beiden Reihen 2 bis 3 Zoll breit und hoch sind, und die durch die Mauer des Ofens hindurchgehen. Die oberste (dritte) Reihe wird im Anfange des letzten Drittels der Höhe des Ofens angelegt. Die obere kreisrunde Oeffnung f des Ofenschachtes kann durch eine bewegliche eiserne Platte e geöffnet und geschlossen werden. Die Steinkohlen werden mit ihren Klüften gegen den Ofen gerichtet, in kreisrunden Reihen rings um denselben aufgestellt, so daß die äußern Kreise immer niedriger werden. Die Entfernung des Fußes des Meilers von dem Fuße des Ofens beträgt 5 bis 6 Fuß; folglich hat der ganze fertige Meiler unten 13 bis 15 Fuß im Durchmesser. Auf die erste oder unterste Kohlenschicht folgt eine zweite, auf diese eine dritte u. s. f., bis der Meiler die Höhe des Ofens erreicht hat, welche er indeß nur in der Mitte behält, und sich nach der Peripherie immer etwas mehr verflächt. Fig. 54 zeigt den ganzen Meiler im senkrechten Durchschnitt, und i im halben Grundriß. Die Zwischenräume werden ebenfalls mit kleinern Kohlen ausgefüllt, und die kleinsten Stücke, wie gewöhnlich, oben zur Decke und zum Ausgleichen gegeben. Alsdann wird der ganze Kohlenmeiler mit angefeuchteter Koaklösche h 2 bis 3 Zoll hoch bedeckt, so daß keine Flamme und kein Rauch durchdringen können, worauf man einige brennende Steinkohlen in den trichterförmigen Ofenschacht wirft, welche durch die untersten Zuglöcher die Kohlen des Meilers in Brand stecken. Der Meiler bleibt 36 bis 48 Stunden im Feuer, und der sich entwickelnde Rauch geht durch die Zuglöcher in den Ofenschacht, durch dessen obere Mündung er abgeführt wird. Wenn weder Rauch noch bläu-

liche Flamme mehr zum Vorschein kommen, so ist der Verkoakungsprozeß beendigt, und die Oeffnung des Ofenschachtes wird mit dem eisernen Deckel fest verschlossen, um alles Feuer zu ersticken. Nach 3 Tagen ist der Meiler ausgelöscht, und die Koaks können gezogen werden. Die Decke wird von Zeit zu Zeit wieder angefeuchtet und wieder erneuert, wo sie abfallen will. Diese Verkoakungsmethode ist bei allen leicht verbrennlichen Steinkohlen sehr zu empfehlen; und wenn man auch dem Volum nach nicht mehr, vielleicht sogar noch etwas weniger Ausbringen an Koaks, als in den offenen Meilern, haben sollte: so muß man sich dadurch nicht täuschen lassen, weil die Koaks dafür desto derber, schwerer und wirksamer ausfallen.

333. Wenn die Steinkohlen zu sehr zerkleinert sind, so lassen sie sich auf diese Art nicht verkoaken, theils weil sie der Luft den Zutritt nicht verstatten und das Feuer ersticken, theils weil die wirklich entstehenden Koaks von nicht sehr stark backenden Steinkohlen, wegen ihrer Kleinheit, zu Schmelzarbeiten ganz unbrauchbar sein würden, theils und vorzüglich, weil sich das Feuer nicht gleichartig durch die fest liegende Masse verbreiten und ein Theil derselben daher schon verbrennen oder sich veraschen würde, während der andere noch roh ist.

334. Das Verkoaken dieser zerkleinerten Backkohlen kann daher nicht in Meilern, sondern es muß auf Heerden, oder auch in runden, oben ganz offenen Oefen, in denen die Staubkohlen jedoch nicht zu dick über einander liegen dürfen, geschehen. Das Verkoaken in runden cylindrischen Oefen ist weniger vortheilhaft, weil mehr Koaks dabei verbrennen, weil zum Anzünden und zum Einrichten der Luftkanäle unten auf dem Boden der Oefen, zu viel Stückkohlen erforderlich sind, und weil das Ausziehen der fertigen, oft ganz zusammengebacknen Koakmasse viel Schwierigkeiten hat.

Bessere Dienste leisten dagegen bei dem Verkoaken der Staubkohlen Heerde, die mit flachen Gewölben versehen sind, auf denen die Kohlen ausgebreitet und angezündet werden. Der Ofen hat vorn nur eine Oeffnung zum Eintragen der

Kohlen, Ausziehen der Koaks, und aus welcher auch die Flamme beim Verkoaken ausschlägt. Sobald das Rauchen aufhört, keine Flamme mehr erscheint und sich weiße Flugasche auf der Oberfläche der Kohlen bildet, muß die Operation unterbrochen werden. Man dämpft dann die Hitze mit Wasser, zieht die fertigen Koaks heraus und löscht sie vollkommen mit Wasser ab. Die erhaltenen Koaks nennt man Backkoaks, weil sie aus kleinen und zusammengebacknen Kohlen zusammengesetzt sind. Daß bei dieser Operation ein großer Kohlenverbrand stattfinden muß, ist einleuchtend.

Weil die Flamme zugleich einen Theil unzersetzter Kohle mit sich fortreißt, und weil sich zum Theil auch Gasarten entwickeln, die einen Theil ihres Kohlenstoffgehaltes beim Erkalten entlassen, welcher sich demnächst als der feinste Kohlenruß absetzt, so verbindet man mit dieser Verkoakungsart der Steinkohlen zuweilen auch die Rußfabrikation, indem man den aus dem Gewölbe ausströmenden Rauch durch nicht zu enge Züge in ein großes mit Sackleinwand ausgeschlagenes Behältniß leitet, in welchem er den größten Theil des mechanisch fortgerissenen Kohlenstaubes, oder auch einen Theil des chemisch gebundenen Kohlenstoffes absetzt, welcher von Zeit zu Zeit gesammelt und in irdenen, mit einem Deckel versehenen und verklebten Töpfen geglühet wird. Zuweilen werden die kleinen Kohlen absichtlich auf Ruß benutzt.

335. Man wendet auch Oefen von einer etwas andern Einrichtung zum Verkoaken der zerkleinten oder zu Staub zerfallenen Backkohlen an. Der Heerd bildet ein längliches Oval aus Mauerziegeln, welche auf einer Füllung von magerem Lehm oder von fettem Sande ruhen. Das flache Gewölbe über dem Heerde besteht aus Sandstein oder auch aus Mauerziegeln. Im höchsten Punkte des Gewölbes, der zugleich der Mittelpunkt des ganzen Ofens ist, befindet sich ein kurzer Schornstein zum Abzug der Dämpfe. An den beiden einander gegenüberstehenden schmalen Seiten des Heerdes sind zwei Oeffnungen zum Einsetzen der Kohlen und zum Ausziehen der Koaks befindlich, die mit eisernen Thüren verschlossen

werden können. Letztere sind mit mehrern Löchern zum Einströmen der atmosphärischen Luft versehen.

Soll ein solcher Ofen in Betrieb gesetzt werden, so wird der innere Raum zuvörderst durch verbrennende Steinkohlen glühend gemacht. Alsdann wird eine, ungefähr 1½ Zoll hohe Schicht von kleinen Kohlen eingetragen, die sogleich an zu brennen anfängt, worauf man die Thüren verschließt und den Ofen so lange in dem Zustande läßt, bis sich keine Flamme mehr zeigt. Darauf wird zuerst die eine Hälfte des Heerdes, bis zur Mitte, mit kleinen Kohlen bedeckt, welche einen Haufen bilden, der nur einige Zoll höher ist, als die Höhe der Einsetzöffnung beträgt. Die Thür wird alsdann niedergelassen. Nachdem der Heerd auf diese Weise auf der einen Seite geladen ist, schreitet man auch zur Besetzung auf der andern Seite, und richtet sich mit der Arbeit so ein, daß abwechselnd die eine Seite besetzt wird, wenn die andere Seite noch nicht ganz gar geworden ist. (Karsten's Eisenhüttenkunde, §. 580.)

336. Auf dem Hüttenwerke Janon bei St. Etienne, unweit Lyon, verkohlt man die dort häufigen Staubkohlen in pyramidalen oder konischen Haufen, durch die mehrere Zuglöcher gehen. Man feuchtet sie zu dem Ende mit Wasser an und stampft sie in hölzerne Formen. Diese haben Löcher, durch welche hölzerne Cylinder gesteckt werden, die man, nachdem man die Form vollgestampft hat, wieder herauszieht. Die Haufen sind 3½ Fuß hoch, der untere Durchmesser beträgt 12 und der obere 7 Fuß. Das Anzünden geschieht mit kleinen Stückkohlen. (Karsten's Eisenhüttenkunde, §. 580.)

337. Daß der darstellbare Kohlengehalt der Steinkohlen in der größten Menge erhalten werden kann, wenn die Steinkohle der Destillation in verschlossenen Gefäßen durch äußere Hitze unterworfen wird, ist bekannt. Jedoch ist diese Methode zu kostbar, und sie wird nur dann angewendet, wenn die Produkte der trocknen Destillation der Steinkohlen auffangen will.

Hierbei ist indeß die Gewinnung der Produkte von der Destillation Hauptsache, und die der Koaks nur Nebensache.

Was jene betrifft, so verweise ich auf die Werke über die Gaserleuchtung, welche nicht zu den in den vorliegenden abgehandelten Gegenständen gehört.

338. In solchen Verkoakungsöfen, in denen die zu verkoakenden Steinkohlen nicht durch äußere Hitze, sondern durch langsames und regelmäßiges Hinzutreten von atmosphärischer Luft verkohlt werden, lassen sich die Vortheile der Gewinnung der beim Verkohlen entweichenden Produkte, insofern diese nicht aus Gasarten, sondern aus kondensirbaren Flüssigkeiten bestehen, mit der Koakerzeugung vereinigen. Weil die Steinkohlen nicht so, wie das Holz, beim Verkohlen schwinden, so finden auch beim Verkoaken in Oefen alle die Schwierigkeiten nicht statt, welche das Verkohlen des Holzes in Oefen so sehr veranlassen. Zum Verkoaken in Oefen wählt man gewöhnlich schwachbackende Steinkohlen, theils weil sie am mehrsten Bitumen oder Theer ausgeben, theils weil sie sich in Oefen leichter verkoaken lassen, indem sie keinen so starken Luftzutritt erfordern, als die schweren und festen Sinter- und Sandkohlen. Dagegen sind die sich stark aufblähenden Backkohlen zum Verkoaken in Oefen wenig geeignet, weil sie den Luftzutritt verhindern, und weil es nicht möglich ist, die zusammengebackne Koaksmenge aus dem Ofen zu bringen.

Die Schächte der Oefen sind gewöhnlich rund, 8 bis 9 Fuß hoch, und haben unten 5 bis 7 Fuß im Durchmesser. Oben verengen sie sich in Gestalt einer Branntweinblase und behalten nur eine 3 Fuß weite Oeffnung, welche mit einer gut passenden eisernen Platte bedeckt werden kann. Die Mauer besteht aus feuerfesten Ziegeln und ist mit eisernen Bändern umgeben. In der Mitte des Bodens des Ofenschachtes befindet sich ein eiserner Rost und unter demselben ein Aschenfall. In der einen Seite der Ofenmauer ist eine Oeffnung zum Einsetzen der Steinkohlen bis zu einer gewissen Höhe befindlich, die beim Betriebe mit Steinen zugesetzt und auch noch mit einer eisernen Thür verschlossen wird. In der Peripherie der Ofenmauer sind in vier horizontalen Reihen Zuglöcher oder Register von $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser (gewöhnlich

eiserne Röhren) in ganz gleichen Entfernungen von einander zur Direction des Feuers angebracht. Oben, in der Nähe der Schachtöffnung, liegt eine eiserne Röhre von 8 bis 10 Zoll im Durchmesser durch die Ofenmauer, und dient zur Abführung der Dämpfe, welche entweder in besondere Kühlgefäße, oder in besonders dazu eingerichtete Condensatoren geleitet werden.

Auf den Rost legt man erst leicht in Brand gerathende Substanzen, Kien, trocknes Holz ꝛc., und setzt darauf die Steinkohlen bis in die Höhe der Thüröffnung, worauf der übrige Theil des Ofens durch die obere Oeffnung gefüllt wird. Beim Setzen der Steinkohlen wird auf eine Zündgasse Rücksicht genommen und die Thüröffnung, nachdem dasselbe vollendet ist, bis auf einen Kanal zur Einbringung des Feuers, zugemauert und die obere Oeffnung mit der eisernen Platte fest verschlossen. Die Fugen werden, zur Verhinderung alles Luftzutritts, verschmiert. Nun wird von unten durch den Rost, oder durch die Zündgasse, Feuer in den Ofen gebracht, und gleichzeitig werden die obern drei Reihen von Registern geschlossen, die untere aber geöffnet. Zeigt sich das Feuer nun durch die Register der zweiten Reihe, welche aus diesem Grunde von Zeit zu Zeit untersucht werden müssen, so werden diese geöffnet und es wird die unterste Reihe geschlossen. Darauf schließt man die zweite und öffnet die dritte, und dann die vierte Reihe. Endlich werden alle Register verschlossen, und in diesem Zustande bleibt der Ofen, bis nach 12 Stunden die Thüröffnung aufgerissen wird und man die glühenden Kohlen herauszieht und mit Wasser löscht.

Die Kohlen dürfen im Ofen niemals flammen, sondern nur glimmen und eine dunkelorange Farbe zeigen. Wird die Flamme heller, so müssen die Zuglöcher und der Aschenfall verschlossen werden. (Karsten, im Archiv für Bergbau und Hüttenwesne, I., Hft. 2, S. 81.)

339. Die im Ofen erzeugten Koaks fallen immer dichter und derber aus, als die aus Meilern erhaltenen, weshalb das Ausbringen nach dem Volumen bei den Ofenkoaks immer ge-

ringer ist, als bei den Meilerkoaks. In der Wirkung stehen die letztern den erstern jedoch weit nach, und das Ausbringen nach dem Gewicht, welches das eigentliche und wahre ist, bleibt beim Verkoaken in Oefen größer, als in offenen Meilern.

Alle Steinkohlen, aus denen harte und feste Koaks entstehen, und welche sich beim Verkoaken gar nicht ausdehnen, werden besser und zweckmäßiger in Meilern verkoakt; dagegen sollten alle Steinkohlen, welche nicht zu sehr backend sind, und mehr oder weniger ausgedehnte und leicht verbrennliche Koaks geben, billig nur in Oefen verkohlt werden, weil sie (dem Gewichte nach) mehr, vorzüglich aber weil sie dichtere und weniger aufgeblähete Koaks geben, als in offenen Meilern, und weil die bei der Verkoakung entweichenden Produkte zugleich mit aufgefangen und benutzt werden können. — Von den Producten kann jedoch nur der Steinkohlentheer gewonnen werden, welcher nochmals gekocht und auch zu Pech umgeändert wird. (S. den oben angeführten Aufsatz von Karsten.)

340. In manchen Hüttenwerken benutzt man auch die bei der Verkoakung der Steinkohlen in Oefen entwickelte Hitze, indem man dieselbe auffängt und unter Dampfkessel ꝛc. leitet. Die Menge der bei der Verkoakung der Steinkohlen verlorengegangenen Wärme ist sehr beträchtlich; sie beläuft sich fast auf die Hälfte derjenigen, welche die vollständige Verbrennung der Steinkohle liefert, denn die Koaks haben ungefähr nur die Hälfte des Gewichts der Steinkohlen, von welchen sie kommen, und die verbrannten Theile sind diejenigen, welche die meiste Wärme entwickeln.

341. Das Ausbringen an Koaks richtet sich nach der Beschaffenheit der Steinkohlen, und beträgt zwischen 50 und einigen 80 Procent dem Gewichte nach. Dem Volum nach rechnet man gewöhnlich eben so viel Koaks als Steinkohlen; indeß geben die Backkohlen wol 5 bis 15 Procent mehr, und die Sinter- und Sandkohlen 1 bis 10 Procent weniger Koaks, als das Volum der Steinkohlen betrug. Beim Verkoaken in Theeröfen liegen die Steinkohlen dichter auf einander, und können sich daher weniger ausdehnen, weshalb sie dem Vo-

lumen nach weniger Koaks geben, als in offenen Meilern, welches Mißverhältniß indeß durch das größere Gewicht des Theerofenkoaks wieder gehoben wird, indem sie 10 bis 15 Procent schwerer sind, als die Meilerkoaks. Steinkohlen, die beim Verkoaken im Freien keinen Zuwachs geben, erleiden in den Theeröfen gewöhnlich einen Abgang von 10 bis 15 Procent dem Volumen nach, wiegen dagegen 12 bis 16 Procent mehr als die Meilerkoaks. Staubkohlen, die auf überwölbten Heerden verkohlt worden sind, geben dem Volumen nach wenigstens immer gleiche Quantitäten Koaks, und erhalten sogar oft einen Zuwachs von 10 und mehreren Procenten, obgleich bei dieser Verkoakungsmethode viel Kohlen verbrannt werden.

342. Ein vollkommenes Koak muß durchaus weder Glas- noch Fettglanz haben, sondern das Ansehen des mattgesottenen Silbers und dabei nur einen schwachen Seidenglanz besitzen. Die Farbe ist nie eisenschwarz, sondern jederzeit viel lichter; zuweilen ist die Bruchfläche mit bunten Farben angelaufen. Den Koaks vom backenden Steinkohlen sieht man das Geflossene, und allen Koaks eine eigenthümliche Porosität an, welche sich nur bei den ganz derben und festen Koaks nicht auf den ersten Blick erkennen lassen will, obgleich sie niemals fehlt. Koaks von Sinter- und Sandkohlen haben die Gestalt von größeren und kleineren rechtwinkligen und geschobenen Würfeln; die von Backkohlen sind in ihrer Gestalt aber um so unbestimmter, je mehr sich die Steinkohle beim Verkohlen ausdehnen konnte. Solche Koaks haben sehr häufig, fast immer, ein blumenkohlartiges und vielfach gewundenes Ansehn. Je größer dabei die Stücken sind, desto mehr beweist dies für die Reinheit der Steinkohlen von erdartigen Beimengungen, und zugleich dafür, daß die Kohlenmasse durch Faserkohle nicht unterbrochen war. Durch häufige Beimengungen von Faserkohle erhalten die Koaks kein blumenkohlartiges, sondern ein ganz unbestimmtes knolliges und abgerundetes Ansehn. Obgleich nach dem Verkoaken der größte Theil der Faserkohle, beim Einziehen der Koaks, als Lösche auf dem Koakplatze zurückbleibt, so können die Koaks doch oft noch einen großen

Theil zurückbehalten, weshalb solche Stücken, an denen häufige Beimengungen bemerkt werden, sorgfältig ausgehalten werden müssen. Eben so ist auch das Aushalten des Schiefer=thons nothwendig, welcher sich nach dem Verkoaken durch seine weiße Farbe deutlich zu erkennen giebt.

Ein chemischer Unterschied der Koaks vor den Holzkohlen ist gar nicht vorhanden. Der ganze Unterschied liegt bloß in einem dichtern mechanischen Gefüge der Koaks. Die Asche der letztern enthält nichts Alkalinisches, wie die Holzasche, allein sie ist eine mechanische Verunreinigung der Kohle.

Ein gewisser Grad von Feuchtigkeit ist den Steinkohlen sehr wesentlich, denn solche, die in der Grube lange abgewässert gestanden haben, zerfallen nach ihrer Gewinnung sehr leicht und geben sehr kleine Koaks. Viele Steinkohlen würden daher gar nicht verkoakt werden können, wenn sie entweder in der Grube lange Zeit abgetrocknet worden sind, oder wenn sie nach der Förderung lange unverkoakt stehen bleiben müssen. Dagegen ist die Nässe den Koaks eben so nachtheilig, als den Holzkohlen. Die Koaks können einige 20 Procent Wasser aufnehmen, und werden dadurch sehr schwer verbrennlich, geben dann auch nur eine schwache Hitze.

234. So wie die härtern und weichern Holzarten und deren Kohle in der Wirkung schon verschieden waren, so sind es die härtern oder weichern Steinkohlen und die aus ihnen erzeugten Koaks in einem noch viel höheren Grade. Bei gleichem Volum könnten die festeren und härteren Steinkohlen und Koaks (bei einem angenommenen gleichen Aschengehalt) den leichteren und lockeren in manchen Fällen vorzuziehen sein; aber die Wirkung bei gleichen Gewichten fällt jederzeit zum Vortheil der leichtern und ausgedehntern Steinkohlen und Koaks aus. Gleiche Gewichtsmengen von backenden und leichteren Steinkohlen leisten nach aller Erfahrung mehr, als gleiche Quantitäten Sinter= und Sandkohlen; aber auch bei gleichem Volum treten die letztern gegen die Backkohlen in der Wirkung zurück. Auch bei den Koaks scheint das Verhältniß der Wirkung bei gleichen Gewichten für die

lockern Koaks günstiger zu sein, als für die festen, obgleich nicht in dem Grade, wie bei den Steinkohlen. Gleiche Gewichte Holzkohlen und Koaks können deswegen nicht gleiche Wirkungen hervorbringen, obgleich beide doch reine Kohle, und nur durch den Aggregatzustand verschieden sind, weil jede Kohle einen besondern Grad der Dichtigkeit der Luft erfordert, wenn in gleichen Zeiträumen gleiche Quantitäten verbrennen sollen und weil der Aschengehalt der Kohlen die Wirkung bedeutend modificirt.

Versuche, um die Wärmemenge kennen zu lernen, welche die Koaks entwickeln, sind mir nicht bekannt. Nach den sehr unsichern Angaben nehmen wir an, daß die Wirkung der Koaks = 0,9 der von den Holzkohlen sei, und daß demnach 1 Kilogr. Koaks durch ihre Verbrennung 6500 Wärmeeinheiten entwickele. Die Angaben von Marcus Bull in dieser Hinsicht sind offenbar zu gering, da er die Heizkraft der Koaks nur = $^4/_5$ von der der Holzkohlen annimmt.

Nach den zu Gleiwitz in Oberschlesien angestellten Versuchen über die Wirkungen verschiedener Koakarten im Kupelofen, ergaben sich folgende Resultate. Mit Einschluß des zum Füllen der Oefen nöthigen Bedarfs erforderten 100 Berliner Centner Roheisen zum Schmelzen:

155 rheinl. Kubikf. od. 6079 Bresl. Pfund Theerofenkoaks, oder
174 » » » 6352 » » Meilerkoaks, oder
168 » » » 5977 » » Backkoaks.

(S. Karsten's Eisenhüttenkunde, §. 591; Archiv f. Bergbau, XI. 119.)

344. Strahlungs-Vermögen. Um dieses kennen zu lernen, sind weder von mir, noch Andern, Versuche mit Coaks gemacht worden; allein ich bin fest überzeugt, daß es weit beträchtlicher als das der Holzkohlen ist.

Elftes Kapitel.

Von dem Torfe [1]).

345. Torf nennt man die aus innig durch einander verwebten und zusammengepreßten, eigends modificirten Pflanzentheilen bestehenden, erdig-compacten oder filzartigen Substanzen, welche mit mehr oder weniger lebhafter Flamme brennen, darauf längere Zeit glühen und also auch verkohlt werden können. Stets enthält der Torf eine größere oder geringere Menge von Erde und Sand.

346. Die Produkte der Verbrennung des Torfs sind sehr zusammengesetzt, und es hält schwer, sie vollständig darzustellen. Sie bestehen fast aus denselben Grundstoffen wie die, welche sich bei der unvollkommenen Verbrennung des Holzes entwickeln, man findet darin unter andern Ammoniak und auch oft schweflichte Säure.

347. Der Torf ist, wie es sich von einem Körper von so junger Bildung erwarten läßt, in seinen Eigenschaften und in seinen Wirkungen als Brennmaterial, und in seinen Gemengtheilen ungemein verschieden. Diese Verschiedenheit richtet sich weniger nach dem der Pflanzen, denen er seine Entstehung verdankt, als nach dem Lockerheitszustande der Pflanzenfaser, nach dem Grade der Veränderung, den diese durch den Gährungsprozeß erlitten hat, und vorzüglich nach der größern oder geringern Verunreinigung mit dem Boden, auf welchem die Pflanzen, welche das Material zu dem Torf hergaben, gewachsen sind. Aus dieser bloß mechanischen Zusammenhäufung wird es einleuchtend, daß die Brennbarkeit des Torfes und seine Wirksamkeit beim Verbrennen ungemein verschieden sein müssen.

Man unterscheidet daher mehrere Varietäten von Torf, von denen jedoch hauptsächlich nur eine, der sogenannte Moor- oder Morasttorf, als Brennmaterial angewendet

---

[1]) Auch dieses Kapitel hat von mir bedeutende Zusätze erhalten. H.

wird. Die Kennzeichen dieses Torfs sind nach der Tiefe, in welcher er gewonnen wird, verschieden. Der von der Oberfläche der Erde ist locker und besteht aus kaum zersetzten Pflanzen. Je tiefer man in die Torfschicht kommt, je dichter wird er, die Farbe wird schwärzer, und die ihn bildenden organischen Reste sind mehr verändert. In den untersten Schichten endlich kann man die vegetabilischen Spuren kaum noch erkennen.

348. Dieser Torf findet sich, wie es auch sein Name bezeichnet, in morastigem und feuchtem Boden, welcher den Grund von Teichen oder Landseen bildete, oder überhaupt in weiten flachen Bassins der Niederungen, so wie auch auf den Plattformen von Gebirgen. Nie liegt er tief unter der Erdoberfläche, und gewöhnlich ist er von einer Erd- oder Sandschicht von 8 bis 16 Zoll Mächtigkeit bedeckt. Zuweilen erreichen die Torflager eine sehr bedeutende Mächtigkeit, und man kennt deren, die zehn Metres tief sind. Auch ihre Ausdehnung ist oft sehr beträchtlich. Man findet den Torf bei weitem mehr in nördlichen als in südlichen Gegenden.

349. Sehr bedeutende Torfmoore finden sich in Preußen, Pommern, in der Mark Brandenburg, in Westphalen, in Holland, in mehreren Gegenden Frankreichs, in Schottland u. s. w.

350. Man gewinnt den Torf durch Stechen in parallelepipedischen Stücken, und läßt ihn dann in freien Haufen oder unter Schuppen wohl austrocknen, wobei er sehr stark und zwar um so mehr schwindet, je besser er ist. Auch die lockere schlammige Torfmasse vom Grunde der Moräste wird ausgefischt und in Formen gepreßt, was einen ganz vorzüglichen Torf, den sogenannten Preßtorf giebt, wogegen der gestochene Stichtorf genannt wird.

351. Des reinen Torfes kann man sich bei allen Flammenfeuern mit dem besten Erfolge bedienen. Da jedoch aber seine Beschaffenheit so außerordentlich verschieden ist, selbst innerhalb der Gränzen eines Lagers, und der Gehalt an Erde ebenfalls viele Verschiedenheiten herbeiführt, so sieht man leicht ein, daß es fast unmöglich ist, irgend etwas Bestimmtes über

die durch die Verbrennung des Torfes entwickelte Wärmemenge zu sagen. Nach den Versuchen von Blavier (Journal des Mines, N° 2. p. 2, N° 197. p. 373. Annales des Mines, IV. 177) und Miché scheint es, daß ein guter Torf höchstens den fünften Theil der Wärme eines gleichen Gewichts Holzkohlen entwickele. Herr Wagner (v. Molls Ephemeriden der Berg- und Hüttenkunde, I. 47) schließt aus seinen Erfahrungen, daß man zu Flammenfeuern (zu Blechglühöfen) etwas mehr als noch einmal so viel trocknen Torf als Holz, dem Volum nach, bedürfe, um mit beiden Brennmaterialien gleiche Wirkungen hervorzubringen. Auch beim Umschmelzen des Roheisens in Flammöfen ist trockner Torf anwendbar, wenn ein starker Zug gegeben wird. Die Beispiele bei den Porzelanöfen, bei den Glashütten und bei den Treiböfen beweisen zur Genüge, daß guter Torf ein treffliches Brennmaterial zu Flammenfeuern ist; indeß müssen örtliche Verhältnisse und ökonomische Rücksichten entscheiden, ob Torf dem Holze, oder letzteres dem erstern vorzuziehen ist. Völlige Trockenheit des Torfes ist bei der Anwendung desselben die erste Bedingung.

352. Die neuerlich von dem französischen Bergingenieur Garnier nach einem großen Maaßstabe ausgeführten Versuche haben sehr vortheilhafte Resultate gegeben. Sie wurden mit Moortorf von Brêles, unweit Beauvais, angestellt. Dieser Torf ist schwärzlichgrau und enthält sehr wenig erdige Substanzen eingemengt. Durch das Trocknen zieht er sich fast bis auf ein Drittel seines Volums zusammen. Unter dem Kessel einer Dampfmaschine von hoher Pressung, von 20 Pferden Kraft, zu Arras, war das doppelte Gewicht Torf gegen Steinkohlen erforderlich, um gleiche Wirkungen hervorzubringen. Die Kosten der Steinkohlen und des Torfes verhielten sich dabei wie 4 : 1. — Ein ähnliches Resultat gab auch der beste Torf von Essonne, zwischen Corbeil und Villeroi, der nach den sorgfältigen Versuchen, welche damit angestellt worden, nur 7,41 Procent Asche hinterläßt.

Im Allgemeinen darf man wol annehmen, daß die Heiz-

kraft eines guten Torfs die Hälfte von der der Steinkohlen betrage.

353. Der Torf verbrennt langsam und giebt daher keine intensive Hitze. Während des Verbrennens entwickelt er einen stechenden und unangenehmen Geruch. — Ueber den Kohlegehalt des Torfes haben die Herren Muschet, Thomson und Bucholz Untersuchungen angestellt. Sie erhielten 15 bis 25 Procent Kohle, 53 bis 75 Procent flüchtige Theile und 2 bis 30 Procent Asche.

354. Sehr gründliche und genaue Untersuchungen über die Bildung der Torfmoore und über die Zusammensetzung des Torfes haben die Herren v. Chamisso, Hoffmann und Poggendorff angestellt (s. Karsten's Archiv, V. 253. VIII. 129. XI. 3). Herr v. Chamisso hat sehr viele Pflanzen benannt, welche zur Bildung des Torfes beitragen, und es geht aus diesen Untersuchungen unwiderlegbar hervor, daß die Torfmoore Süßwasserbildungen sind, welche sich unter dazu günstigen Umständen fortwährend erzeugen, und daß das Meer an den Torfbildungen nicht den mindesten Antheil hat. Herr Poggendorff fand in der Torfasche dieselben Bestandtheile, welche in der Holzasche beständig gefunden werden. Es giebt Torf, der kaum 1 Procent Asche enthält, und beim langsamen Verkohlen ebenfalls 26 bis 28 Procent Kohle zurückläßt, so daß sich bei dem Torfe ganz dieselben Verhältnisse wieder finden, wie bei den unzersetzten Pflanzenfasern. Eine solche Torfkohle muß, in Rücksicht ihrer Reinheit, der Holzkohle ganz gleich gesetzt werden, und sie wird in sehr vielen Fällen die Stelle der Holzkohle vollkommen ersetzen. Ob sie aber in solchen Fällen, wo eine sehr große Hitze erzeugt werden soll, die Dienste der Holzkohle leistet, ist eine ganz andere Frage, welche nur durch die Erfahrung beantwortet werden kann. Der äußerst voluminöse und aufgelockerte Zustand der mehrsten Torfkohlen läßt es nicht erwarten, daß sie geeignet sei, anhaltend eine starke Schmelzhitze hervorzubringen.

355. Strahlungs-Vermögen. Nach mehreren Ver-

suchen habe ich gefunden, daß der Torf dem Anscheine nach eben so viel Wärme ausstrahlt, als die Torfkohle, von denen weiter unten geredet werden wird. Man sehe über den Torf folgende Schriften nach:

Dau, neues Handbuch über den Torf. Leipzig, 1823. Karsten's Eisenhüttenkunde, §. 535 ꝛc. Dessen Archiv für Bergbau u. Hüttenwesen, außer an den weiter oben angeführten Orten, VI. 427. Keferstein, Deutschland geognostisch-geologisch dargestellt, Bd. IV. S. 1 u. f. f. Wächter, im hercynischen Archiv, S. 611.

Zwölftes Kapitel.

Torfkohlen [1]).

356. Die Verkohlung des Torfs geschieht entweder in Oefen, in Gruben oder in Meilern. Das Verkohlen im Freien oder in Meilern hat vor der Verkohlung in Oefen und Gruben einen großen Vorzug, weil er in Meilern besser gar gebrannt werden kann.

Zum Verkohlen in Oefen bedient man sich entweder eiserner Oefen, in denen der Torf von außen erhitzt wird, welche Methode aber kostbar ist, doch nur unvollkommene Kohlen giebt; oder man wendet gemauerte Oefen mit einem Rost an, wobei (wie beim Holze) ein starker Verbrand und ungare Kohle unvermeidlich sind, indem der Torf eine weit größere Hitze erfordert, um völlig durchzukohlen, als das Holz.

Soll der Torf in Gruben verkohlt werden; so gräbt man ein rundes Loch von 3 Fuß im Durchmesser und 3 Fuß tief in die Erde, legt dieses mit Torf dergestalt aus, daß die Mitte oder die Axe des cylindrischen Loches leer bleibt und einen kleinen Schacht von etwa 6 Zoll im Durchmesser bildet. Das Loch wird auf diese Art ganz gehäuft voll gefüllt, und der Torf durch den Schacht unten auf der Sohle (woselbst einige leicht feuerfangende Materialien liegen müssen) in Brand ge-

---

[1]) Das Kapitel ist von mir ergänzt worden. H.

steckt. Wenn der Torf etwa 4 Stunden im Feuer gewesen, so pflegt die Flamme oben schon durchzubrechen, so wie sich auch die über der Erde liegenden Torfstücke zu senken anfangen. Dies ist ein Zeichen der nahenden Gare, weshalb man die Grube nach einiger Zeit mit Rasen zudeckt, und diesen mit Sand bewirft, um das Feuer zu ersticken. Nach 24 Stunden pflegt das Feuer schon ganz erloschen zu sein; indeß ist es nicht möglich, daß der Torf auf diese Art ganz durchkohlen kann, sondern es bleiben immer noch Brände zurück, weil keine Direction des Feuers möglich ist, weshalb auf der einen Seite in der Grube schon ein völliges Verbrennen oder Veraschen stattfinden kann, wenn auf der andern Seite noch rohe Torfstücke vorhanden sind.

Zu Rothau im Elsaß geschieht die Verkohlung in gemauerten Oefen, welche 8 Fuß hohe Cylinder von 6 Fuß Durchmesser ringsum mit Zuglöchern versehen, und mit einer Platte von Eisenblech bedeckt sind, die in der Mitte eine quadratische Oeffnung von 26 Zoll Seitenlänge hat. Bei der Füllung des Ofens läßt man in der Mitte eine, mit dieser Oeffnung correspondirende, Esse zurück, und zwar mittelst Bretter, die man vorher herauszieht. Wenn, nachdem die Masse in Brand gesetzt worden, der dicke Rauch vorüber ist, so schließt man die 20 Zoll weite Oeffnung durch eine mit einem Loche von 6 Zoll Durchmesser versehenen Platte, und später stopft man auch dieses zu. Das Volumen des Torfes reducirt sich durch die Verkohlung auf ein Drittel; das Gewicht der Kohle verhält sich zu der der Tannenkohle wie 45 : 50.

357. Die Verkohlung in Meilern ist der in Oefen auch deshalb vorzuziehen, weil der Torf viel dichter gesetzt werden kann, wogegen er in die Oefen mehrentheils nur hineingeworfen werden muß. Dem zum Verkohlen bestimmten Torfe giebt man gern etwas größere Dimensionen, als der gewöhnliche Torf zum Brennen erhält; auch muß er, wie bereits bemerkt worden, vollkommen trocken sein. Die Meiler werden wie beim Holze gerichtet und behandelt; man macht sie

aber kleiner und setzt höchstens 5 bis 6000 Stück Torf ein, so daß ein Torfmeiler höchstens 1500 Kubikfuß fassen darf. Unten an den Quandel wird Kien und recht trocknes Holz gebracht, um den Meiler schnell in Brand stecken zu können. Wenn die Meilerstätte bereitet und die Quandelstange aufgerichtet ist, wird der Torf in concentrischen Kreisen rund um die Stange, auf dem Kopfe stehend und gegen die Quandelstange etwas geneigt, aufgesetzt, wobei aber nach den vier Weltgegenden auf der Meilerstätte Züge (Zündgassen, die aber nicht bloß zum Anzünden, sondern auch zur Feuerdirection dienen) bleiben müssen, welche so groß sind, daß ein Stück Torf füglich hineingesteckt werden kann. Auf der ersten Torfschicht folgt die zweite, dann auf der zweiten die dritte u. s. f. Um die Torfreihen recht concentrisch zu erhalten, bindet man oben an den Quandel eine Schnur, und schreibt mit dieser jedesmal die Kreise vor. Man setzt die Meiler so steil, als die Beschaffenheit der Decken es zuläßt. Nach dem Richten wird der Meiler mit Rasen, Moos u. s. f. bedeckt, und dann erhält er die zweite Decke oder die Erddecke; oben an der Quandelpfahl-Oeffnung bleibt aber eine Oeffnung von etwa einem Fuß im Durchmesser, welche gar keine Decke erhält. Alsdann wird der Meiler durch eine von den Zündgassen angezündet, die nach den Wetterseiten hingehenden Züge werden verschlossen, die entgegengesetzten mehr oder weniger geöffnet, und die Spitze der Haube wird so lange unbedeckt gelassen, bis das Feuer oben herausschlägt, worauf die Decken gegraben und oben in der Haube Raumlöcher gestoßen werden, deren Anzahl und Stellung in der Meilerdecke sich nach Wind und Wetter richten. Die Beschaffenheit des Rauchs aus diesen Raumlöchern, und die größere oder geringere Leichtigkeit, mit welcher man vermittelst eines eisernen Spießes durch die Torfstücken durchstecken kann, geben das Zeichen, ob die Kohlen gar sind oder nicht. Im ersteren Falle werden die obern Räume geschlossen und einen Fuß tiefer neue gestoßen, bis man endlich durch solche concentrischen Reihen von Raumlöchern zum Fuße des Meilers kommt, der dann gar gebrannt ist.

Obgleich der Torf immer etwas stärker angegriffen werden muß, als das Holz, weil er schwerer brennt, so erfordern die verschiedenen Torfarten doch eine sehr verschiedene Behandlung beim Verkohlen, indem einige mit eben der Sorgfalt, wie das Holz im Meiler, behandelt werden müssen. Das Abkühlen und Abputzen des Meilers, so wie das Kohlenziehen, ist von dem bei der Behandlung des Holzes bemerkten Verfahren nicht abweichend. Wenn die Arbeit gut geht, so hat man 30 bis 40 Procent Kohlen von dem eingesetzten Torfe (dem Volum nach) zu erwarten.

358. Heizkraft. Die Torfkohlen entwickeln bei ihrer Verbrennung dieselben Produkte, wie die Holzkohlen.

Da die Torfkohlen denselben Veränderungen unterworfen sind, als der Torf, aus welchem sie gebrannt worden sind, wenigstens rücksichtlich der fremdartigen Substanzen, die sie enthalten, so ist auch die Wärmemenge, die sie entwickeln, sehr verschieden. Man muß jedoch annehmen, daß die Torfkohlen dieselbe Hitze entwickeln, wie die reine Kohle, welche sie enthalten. Die Torfkohlen von Essonne enthalten 18,2 Procent Asche, das mittlere Resultat von mehreren mit Sorgfalt angestellten Versuchen. Es geht daraus hervor, daß der Wärmestoff-Werth eines Kilogramms von dieser Kohle = 6400 sei.

Nach den am Harze gemachten Versuchen (Hercynisches Archiv, S. 631) verhält sich die Wirkung der Torfkohle zu der von büchenen Kohlen, wie 1 : 3.

Eine merkwürdige Erscheinung, welche die Torfkohlen zeigen, ist die, daß sie ihr Volum behalten, wenn sie nicht heftig bewegt werden. Dies hängt offenbar von der großen Menge fremdartiger Substanzen ab, welche sie enthalten.

359. Strahlungs-Vermögen. Die Menge des strahlenden Wärmestoffs, welche die Torfkohle bei ihrer Verbrennung entwickelt, ist sehr beträchtlich. Folgendes ist das Resultat, welches ich bei einem Versuche mit dem oben (251) beschriebenen Apparate erhalten habe.

Die atmosphärische Luft war = ... 23°
Das in dem Gefäß befindliche Wasser = ... 18°,75.

Durch die Verbrennung von 39 Grammen Brennmaterial von 100, wurde die Temperatur des Wassers auf 27°,25 erhöhet. Demnach hatte also die von dem Wasser absorbirte strahlende Wärme die Temperatur der Masse um 8°,5 erhöhet.

Da nun die Menge des Wassers immer 11,29 Kilogr. und das Gewicht des Gefäßes 2,223 Kilogr. beträgt, so ist die Menge der durch das Gefäß absorbirten Wärme = (11,29 Kilogr. + 2,223 Kilogr. × 1,11) 8°,5 = 98 Wärmeeinheiten. Die ganze Menge der strahlenden Wärme beträgt demnach 98 × 1,12 = 117,6. Oder die 39 Grammen Breennmaterial, die verbrannt worden sind, und die man als reine Kohle ansehen kann, haben 7300 × $\frac{39}{1000}$ = 285 hervorbringen müssen.

Die Menge der strahlenden Wärme verhält sich daher zu der ganzen Menge der hervorgebrachten Wärme = 117 : 285 = 1 : 2,43.

Das Verhältniß der strahlenden Wärme zu der durch den Luftstrom hinweggeführten ist = 1 : 1,4.

Dies Verhältniß ist aus denselben Gründen, als die oben, bei der Strahlung des Holzes (309) auseinandergesetzt sind, ein wenig zu hoch. Man wird sich nicht weit von der Wahrheit entfernen, wenn man das erstere Verhältniß = 1 : 3 annimmt.

Siehe, über das Verkohlen des Torfes. Berlin, 1793. Derselbe, Etwas über das Verkohlen des Torfes. Daselbst 1822. Karsten's Eisenhüttenkunde, §. 543) Blavier, Journ. des Mines, N° 2. p. 2, N° 197. p. 373; Annales des Mines, IV. 177. Wächter, im hercynischen Archiv, S. 611. Calender für den sächsischen Berg- und Hüttenmann. 1829. S. 194.

Dreizehntes Kapitel.

Von den Brennziegeln. (Briquettes.)

360. Man nennt so eine Art von Ziegeln, die man anfertigt, indem man pulverförmige brennbare Körper, die in diesem Zustande nicht auf den Rost verbrannt werden können, mit verdünntem Thon vermengt. Man macht auf diese Weise Brennziegel mit Sägespänen, Staub von Holzkohlen, Steinkohlen, Torf ꝛc.

361. Der Thon wird zu dem Ende so mit Wasser verdünnt, daß er einen sehr flüssigen Teig findet, mit welchem man den brennbaren Staub in solcher Menge vermengt, daß der Teig so fest wird, daß man ihn formen kann. Ehe sie jedoch nicht vollkommen trocken sind, darf man die Ziegeln nicht gebrauchen. Die Menge des angewendeten Thons muß gerade hinreichend sein, um die Theile des Brennmaterials mit einander zu verbinden. Die Wärmemenge, welche durch die Verbrennung der Brennziegeln entwickelt wird, läßt sich nicht bestimmen, weil dieselbe nicht allein von der Beschaffenheit und Menge des angewendeten Brennmaterials, sondern auch von der Menge des Thons und dem Wassergehalt, welchen die Ziegeln noch nach dem Trocknen enthalten, abhängen. Jedoch kann man annehmen, daß die Wärmemenge, welche sie erzeugen können, gleich der ist, welche das Brennmaterial hervorbringt, aus welchem sie angefertigt worden sind, da im Allgemeinen der Wassergehalt sehr gering ist.

362. Diese Ziegeln sind vortheilhaft, weil das Brennmaterial in dieser Gestalt zu einem weit geringern Preise verkauft wird, als wenn sie in Massen sind; allein man kann es nur in Apparaten anwenden, in denen keine sehr hohe Temperatur erforderlich ist, denn es verbrennt langsam, welches daher kommt, weil zwischen den brennbaren Materien unverbrennliche Fragmente vorhanden sind, die sich der unmittelbaren Berührung der Luft widersetzen.

363. Daher sind die Brennziegeln vorzüglich in Stubenöfen und in Kaminen anzuwenden. Bei dem letztern Gebrauch haben sie noch den Vortheil, eine große Menge strahlender Wärme zu entwickeln und folglich die Wirkung des Brennmaterials zu verstärken.

Vierzehntes Kapitel.

Von den Lohkuchen.

364. Man bezeichnet hiemit die ausgelaugte Lohe, die man in Formen stampft und sie dann trocknet. Jedoch enthalten diese Lohkuchen noch viel Wasser und brennen daher langsam, weshalb sie nur von der ärmern Klasse als Brennmaterial angewendet werden. In Gegenden und Städten, wo die Brennmaterialien sehr theuer sind, haben sie dennoch Werth.

Funfzehntes Kapitel.

Vergleichung der verschiedenen Brennmaterialien.

356. Wir wollen zuvörderst eine vergleichende Tabelle über die durch die Verbrennung verschiedener in den Künsten und Gewerben angewendeten Brennmaterialien entwickelten Wärmemengen mittheilen. Dann fügen wir aber auch die verschiedener anderer hinzu, die nur zur Erleuchtung angewendet werden, da von diesen im zweiten, bei der Erheizung der Wohnungen, die Rede sein wird. Auch enthält die Tabelle die zur vollkommenen Verbrennung jener Materien genau nothwendigen Mengen von Sauerstoff und atmosphärischer Luft.

Tabelle über die durch die Verbrennung von einem Kilogramm Brennmaterial entwickelten Wärmemenge.

Namen der Substanzen.	Menge der entwickelten Wärme.		Menge des absorbirten Sauerstoffs.		Menge der zur Verbrennung nöthigen Luft.	
			In Litres bei dem Druck von 0,76 M. u. bei 0°	Dem Gewicht nach.	In Litres bei dem Druck von 0,76 M. u. bei 0°	Dem Gewicht nach.
				Kilogr.		Kilogr.
Vollkommen trocknes Holz ...	3500		963	1,377	4585	5,96
Holz im gewöhnlich trocknen Zustande, mit ungefähr 25 Procent Wasser	2600		723	1,033	3442	4,47
Holzkohlen	7300		1853	2,655	8820	11,46
Steinkohlen, ziemlich backende	6000		1562	2,234	7438	9,26
Koaks, mit 0,15 Asche	6500		1353	2,655	8320	11,46
Torf, von guter Qualität	3000		»	»	»	»
Torfkohlen, mit 0,18 Asche..	6400		»	»	»	»
Wasserstoff	Laplace	23400	5609	8,038	26709	34,72
	Clément	22125				
	Despretz	23640				
Gekohlter Wasserstoff	Dalton	6375	2743	3,923	13620	17,70
Leichter gekohlter Wasserstoff..	Dalton	6600	2356	3,370	11219	14,58
Kohlenoxyd	Dalton	1857	400	0,572	1904	2,47
Baumöl	Rumford	9044	2100	3,02	10000	13,00
	Lavoisier	11196				
Gereinigtes Colzaöl	Rumford	9307	»	»	»	»
Schwefeläther, von 0,728 specif. Gew. von 20°	Rumford	8030	1767	2,52	8413	10,93
Alkohol, von 42° bei einer Temperatur von 15°,5	Rumford	6195	1720	2,47	8190	10,64
Alkohol, von 33° bei einer Temperatur von 15°,5	Rumford	5261	»	»	»	»
Talg	Rumford	8639	2174	3,109	10352	13,45
	Laplace	7186				
Weißes Wachs	Rumford	9479	2188	3,129	10419	13,54
	Laplace	10500				
Naphta, von 0,872 spec. Gew.	Rumford	7338	2257	3,288	10452	13,58
Phosphor	Laplace	7500	965	1,380	4595	59,73
Terpentinöl	Dalton	4500	2257	3,288	10452	13,58

366. Welter war der erste, welcher die sehr wahrscheinliche Hypothese aufstellte, daß die, durch die verschiedenen einfachen und zusammengesetzten Brennmaterialien entwickelten

Wärmemengen den absorbirten Sauerstoffmengen proportional seien. Nach den neuern Versuchen von Despretz über den Kohlen- und Wasserstoff, wird die Hypothese noch wahrscheinlicher, denn die erhaltenen Zahlen stimmen mit dem Gesetz überein. Die übrigen Brennmaterialien entfernen sich weit mehr davon, allein die Differenzen sind geringer, als die von verschiedenen Physikern für ein und dasselbe Brennmaterial gegebenen Zahlen, so daß man annehmen darf, es seien Beobachtungsfehler. Der Phosphor scheint übrigens für dieselbe absorbirte Sauerstoffmenge, gegen die übrigen Brennmaterialien, eine doppelte Wärmemenge zu entwickeln.

Wenn das von Welter als muthmaßlich aufgestellte Gesetz sich bewährt, so braucht man nur die von einem der einfachen Brennmaterialien entwickelte Wärme, die Zusammensetzung und die Menge des durch die Verbrennung aller einfachen und zusammengesetzten Körper absorbirten Sauerstoffs zu kennen, um die Wärmemenge aller zu deduciren.

Das fragliche Gesetz werde nun durch neue Experimente bestätigt oder verworfen, so sind die in der vorhergehenden Tabelle aufgeführten Zahlen für alle technische Anwendungen hinreichende Annäherungen.

Tabelle über die Werthe verschiedener Brennmaterialien, dem Volum nach geschätzt, in Beziehung auf die Wärmemengen, welche sie bei ihrer Verbrennung entwickeln.

1	Hectolitre	Steinkohlen von mittlerer Qualität		480
1	Klafter	Holz (4 Kubikmetr.) v. d. Nußbaum v. jähr. Schlage		7742
1		dergleichen	von der Eiche	desgl. 6846
1		dergleichen	von der Esche	desgl. 5974
1		dergleichen	von der Weißbuche	desgl. 5603
1		dergleichen	von der Ulme	desgl. 4487
1		dergleichen	von der Birke	desgl. 4102
1		dergleichen	von dem Kastanienb.	desgl. 4035
1		dergleichen	von der Rothbuche	desgl. 5572
1		dergleichen	von der Fichte	desgl. 4263
1		dergleichen	von der ital. Pappel	desgl. 3069
1	Hectolitre	Kohle	von Nußbaumholz	292
1		dergl.	von Eichenholz	255

1 Hectoliter	Kohle	von Eschenholz	219
1	dergl.	von Weißbuchenholz	176
1	dergl.	von Ulmenholz	167
1	dergl.	von Birkenholz	153
1	dergl.	von Kastanienbaumholz	146
1	dergl.	von Rothbuchenholz	176
1	dergl.	von Fichtenholz	160
1	dergl.	von Pappelholz	109
1 gehäuftes Hectoliter		Koaks	182
1 Klafter Torf von Beauvais 2te Sorte von 2000 Kilogr.			6000

Man hat diese Zahlen erhalten, indem man die Kilogrammenmenge des Gemäßes mit der 1 Kilogr. Brennmaterial correspondirenden Heizkraft multiplicirt und die drei letzten Zahlen weglaßt.

367. Wenn man an einem bestimmten Orte den Preis der verschiedenen Brennmaterialien kennt, so wird man die wohlfeilste leicht finden können, indem man den Preis durch die correspondirende Zahl der vorhergehenden Tabelle dividirt, welches den Preis von 1000 Wärmeeinheiten giebt.

In Paris z. B., wo das Hectoliter Steinkohlen gewöhnlich 4 Fr. 40 Cent., 1 Hectol. Koaks 2 Fr. 85 Cent., 1 Klafter Büchenholz fast 70 Fr., und ein Hectoliter Holzkohlen, welches fast 22 Kilogr. 4 Fr. kostet, ist

der Preis von 1000 Wärmeeinheiten mittelst der Steinkohle $= \frac{4,40}{480} = 0,009$

der Preis von 1000 Wärmeeinheiten mittelst der Koaks $= \frac{2,85}{182} = 0,015$

der Preis von 1000 Wärmeeinheiten mittelst des Holzes $= \frac{70}{5603} = 0,012$

der Preis von 1000 Wärmeeinheiten mittelst Holzkohlen $= \frac{4}{7300 \times 22} \times 1000 = 0,025.$

Man sieht daher, daß in Paris die Erheizung mittelst Steinkohlen die wohlfeilste von allen, daß die Feuerung mit Koaks theurer, als die mit Holz, und die mit Holzkohlen die theuerste von allen ist.

Jedoch müssen wir bemerken, daß die Zahlen der vorstehenden Tabelle, welche den Werth der dem Volum nach geschätzten Brennmaterialien angeben, nur als Näherungen angesehen werden müssen, die nach der Beschaffenheit der Brennmaterialien, und nach der Art, sie zu messen, bedeutender Veränderungen fähig sind. Man muß an jedem Orte das Gewicht des Gemäßes der Brennmaterialien durch mehrere Versuche unmittelbar bestimmen, dann wird die dem Gewichte nach geschätzte Heizkraft der Brennmaterialien (siehe die Tabelle bei 365) das Mittel an die Hand geben, die dem Volum nach gemessenen Brennmaterialien auf eine hinlänglich annähernde Weise zu bestimmen.

Menge der strahlenden Wärme, die während der Verbrennung verschiedener Brennmaterialien zerstreut wird; die ganze Menge der entwickelten Wärme wird durch 100 dargestellt.

Trocknes und kleines Holz	25
Holzkohlen	33
Steinkohlen	weit mehr
Koaks	weit mehr
Torf, fast wie die Torfkohlen.	
Torfkohlen	33
Colzaöl	16

368. Man ersieht aus der vorhergehenden Tabelle, daß die Brennmaterialien um so weniger Wärme ausstrahlen, je mehr Flamme sie geben. So wird durch die Verbrennung des Oels weniger Wärme ausgestrahlt, als durch die des Holzes, und durch die des letztern weniger, als durch die der Kohlen.

369. Der Versuch mit dem Oel ist mittelst des Apparates Fig. 52 gemacht worden. Die Data und die Berechnung bei dem Versuche waren folgende:

Die Temperatur der Luft war = 26°.

Die des hineingebrachten Wassers war = 23°,5.

Durch die Verbrennung von 50 Grammen Oel wurde das Wasser bis auf 29° erwärmt.

Folglich war die Menge der absorbirten strahlenden

Wärme (293) = (11,29 Kilogr. + 2,223 Kilogr. × 0,11) 5°,5 = 63 Einheiten; und die ganze Menge der strahlenden Wärme = 63 × 1,12 = 75,6. Oder die verbrannten 50 Grammen Oel haben $\frac{50 \times 9307}{1000} = \frac{9507}{20} = 435,3$ Einheiten hervorbringen müssen. Es verhält sich demnach die strahlende Wärme zu der ganzen Menge der producirten Wärme = 75 : 435 = 1 : 5,8.

370. Wahl des Brennmaterials. Die Wahl des Brennmaterials hängt 1) von der Natur der hervorzubringenden Wirkung; 2) von dem Preise des Brennmaterials, in Beziehung auf die Wärmemenge, die sie entwickeln, ab.

371. Will man eine sehr bedeutend hohe Temperatur von bedeutender Ausdehnung und in einer großen Distanz von dem Heerde hervorbringen, so ist das Holz das vortheilhafteste Brennmaterial, da es eine große Flamme giebt; und von allen Hölzern sind die weichen die vorzuziehenden, da sie wenig glühende Kohlen hinterlassen.

372. Wenn im Gegentheil die Temperatur, obgleich hoch, nur in geringer Entfernung von dem Heerde wirken sollen, so können gleich gut Holz und Steinkohlen, und da, wo er vorhanden ist, kann auch mit großem Vortheil Torf angewendet werden. Besonders vortheilhaft ist er, nach den Versuchen Garnier's, zur Feuerung der Dampfkessel. Außer der Wohlfeilheit hat der Torf gegen die Steinkohle noch mehrere andere wichtige Vortheile: 1) das Feuer ist leichter zu regieren, weil sich auf dem Rost keine Schlacken bilden, die den Durchgang der Luft verhindern; 2) da die Temperatur minder hoch ist, so leiden auch die Rosten, die Seiten des Ofens und der Kessel weniger. Wir müssen jedoch hinzufügen, daß Garnier die Bemerkung gemacht hat, daß man den Ofen anfänglich eine Stunde lang mit Steinkohlen heizen müsse, ehe man mit Torf feuert. Vergleichende Versuche, welche bei der Heizung eines Weißblechglühofens mit Kiefernholz, und eines andern mit Sinterkohlen, in Oberschlesien angestellt worden sind, haben ergeben, daß 100 Kubikfuß Steinkohlen die Wirkung von 635 Kubikf. Holz hatten.

373. Muß aber die Temperatur sehr hoch sein, und soll sie sich in dem Heerde selbst zeigen, wie bei der Schmelzung der Metalle, so haben die Steinkohlen, die Koaks und die Holzkohlen den Vorzug; Holz, Torf und Torfkohlen können dazu nicht angewendet werden. — Bei einerlei Eisenerzen, welche in den oberschlesischen Hohöfen verschmolzen werden, verhält sich die Wirkung der Holzkohlen zu der der Koaks, dem Maaße nach, wie 100 zu 56, und dem Gewicht nach, wie 100 zu 171. Jedoch sind diese Angaben nicht ganz zuverlässig, und nur als eine allgemeine Schätzung anzusehen. In den Kupolöfen verhält sich die Wirkung der Holzkohlen zu der der Koaks, dem Maaße nach, wie 100 zu 23,1 und dem Gewicht nach, wie 100 zu 71,2.

374. Wenn die Hitze nicht sehr stark zu sein und nur in geringer Entfernung von dem Heerde zu wirken braucht, so kann man alle Brennmaterialien anwenden, die einen jedoch mehr oder weniger vortheilhaft, als die andern.

375. Der Torf und seine Kohlen scheinen mir nur in dem Falle eine wesentlich vortheilhafte Anwendung zu haben, wenn man ein wenig hohe, aber anhaltende Hitze hervorbringen will, wie in Stubenofen, in Trockenanstalten ꝛc. Man kann sie jedoch auch, wie wir bemerkten, zur Erzeugung des Dampfs, in Destillationsanstalten ꝛc. anwenden. [1]).

376. Wenn die verschiedenen Brennmaterialien gleich gut angewendet werden können, so hängt die Wahl derselben größtentheils von dem Preise der Massen, die gleiche Heizkraft haben, ab (365). Es ist offenbar, daß, wenn die strahlende Wärme allein angewendet werden soll, man zugleich die Heizkraft und das Strahlungsvermögen berücksichtigen muß.

---

[1]) Der Torf kann jedoch auch sehr vortheilhaft zur Feuerung von Glühöfen, und die Torfkohle zum Eisenschmelzen und Frischen angewendet werden, wie zu Rothau und an andern Orten im Vogesen-Departement und zu Lauchhammer in der Lausitz dargethan worden ist. H.

Dritter Abschnitt.

Bewegung der warmen Luft.

Sechszehntes Kapitel.

Theorie der Bewegungen der warmen Luft in einem cylindrischen Kanal, wobei man annimmt, daß die Temperatur constant sei, und wobei die Reibung nicht berücksichtigt wird.

377. Wir sahen (67), daß, wenn man die Temperatur der Luft erhöhet, sie sich ausdehnt, und folglich, bei gleichem Volum, leichter wird. Man weiß ferner auch, daß jedesmal, wenn ein Körper in eine tropfbare oder gasförmige Flüssigkeit getaucht wird, er mit einer seinem Gewicht gleichen Kraft nieder zu sinken, und mit einer dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleichen Kraft in die Höhe zu steigen strebt. Jedesmal, wenn daher durch irgend eine Ursach ein Theil der Luft erwärmt wird, so strebt sie, sich mit einer, der Differenz zwischen dem Gewicht des Volums der kalten Luft, deren Platz sie einnimmt, und ihrem eigenen Gewicht gleichen, Kraft zu erheben. Wenn daher ein von der Atmosphäre getrenntes Kubikmeter Luft eine Temperatur von 100° hat, die der äußern Luft auf dem Nullpunkte steht, so würde die Kraft, mit welcher sie aufzusteigen strebt, gleich sein der Differenz zwischen dem Gewicht eines Kubikmet. Luft von 0° und eines von 100°. Oder, da ein Kubikmeter Luft von 0° 1,290 Kilogr. wiegt, und da die Ausdehnung der Luft von 0 bis 100°, 0,375 ihres anfänglichen Volums (72) beträgt, so wird ein gleiches Gewicht Gas, bei gleichem Druck, bei 0° und bei 100°, Volumina haben, die in dem Verhältniß von 1 zu 1,375 stehen. Folglich verhält sich das Gewicht eines Kubikmeters Luft bei

100° zu dem eines Kubikmeters bei 0°, oder von 1,29 Kilogr. Gewicht, wie 1,375 zu 1. Man deducirt hieraus das Gewicht eines Kubikmeters Luft bei 100° = 0,938 Kilogr.; und die Kraft, mit welcher sie sich zu erheben strebt, ist = 1,290 Kilogr. — 0,938 = 0,35 Kilogr.

378. Ist die warme Luft frei, so wird sie die umgebende Luft unaufhörlich abkühlen, der Widerstand, welchen sie bei ihrer Bewegung findet, wird sie zertheilen, und bald wird sie erkaltet und in der umgebenden Luft vertheilt sein. Dies ist mit dem aus den Kaminen herausgehenden Luft der Fall. Nehmen wir aber an, daß diese Luft von einem für die Wärme undurchdringlichen Mantel umgeben sei, oder daß die Temperatur der warmen Luft durch ein Feuer erhalten werde, alsdann wird sich die Masse der erwärmten Luft, mit beschleunigter Bewegung, in die Luft emporheben. Die Hypothese, welche wir hinsichtlich der Umhüllung, die eine Vertheilung der warmen Luft veranlaßt, machten, kann sich bei den Ballons mit verdünnter Luft, die ein Kohlenbecken enthalten, verwirklichen; denn eine Menge des ausgehenden Brennmaterials könnte auf die Weise berechnet werden, daß die producirte Wärme gleich derjenigen sei, welche zu gleicher Zeit durch die Hülle verloren geht. In diesem Falle ist die Kraft, mit welcher sich die warme Luft zu erheben strebt, gleich der Differenz des Gewichts eines gleichen Volums kalter und warmer Luft, weniger dem Gewicht der Umhüllung.

379. Da die, die warme Luft fortstoßende, Kraft eine unaufhörlich wirkende ist, so wird die aufsteigende Geschwindigkeit beschleunigt werden; sie wird es aber, wegen des Widerstandes der Luft, nicht so viel, als die Schwere.

380. Der Widerstand der Luft hängt von der Gestalt des sich bewegenden Körpers, und von seiner Dichtigkeit ab, und nimmt mit dem Quadrate der Geschwindigkeit zu. Es geht daraus hervor, daß, jemehr die Geschwindigkeit, mit welcher die warme Luft aufsteigt, zunimmt, der Widerstand der kalten Luft auch in einem weit größern Verhältnisse steigt,

wodurch die Beschleunigung gehemmt und die Bewegung gleichförmig gemacht wird.

381. Auf die Verminderung der Dichtigkeit und folglich auf den Druck der atmosphärischen Luft, in dem Maaße, daß man sich über die Oberfläche der Erde erhebt, wird in dem Folgenden keine Rücksicht genommen.

382. *Ausströmen der warmen Luft durch eine cylindrische vertikale Röhre.* Betrachten wir eine runde, senkrecht stehende Röhre AB (Fig. 58), die 50 Metr. hoch, und unten und oben offen ist, und nehmen wir an, daß die äußere Luft, indem sie am untern Ende einströmt, eine constante Temperatur von z. B. 100° annimmt, wogegen die äußere Temperatur 0° betrage. Eine ähnliche Erscheinung zeigt sich in den Oefen; allein unabhängig von der Wärme, welche hier der Luftstrom aufnimmt, erleidet er hier eine Veränderung seiner Zusammensetzung, deren Einfluß wir später untersuchen wollen. Wir nehmen jetzt bloß an, daß die Luft eine Temperatur erhalte, als wenn der untere Theil des Kanals aus einer von unten erhitzten guseisernen Platte bestehe, und als wenn die äußere Luft von der Seite eintrete, wie Fig. 59 zeigt.

383. Nehmen wir nun an, daß der Kanal mit warmer Luft angefüllt sei, so wird die das Steigen bewerkstelligende Kraft offenbar die Differenz zwischen dem Gewicht der beiden 50 Metr. hohen Luftsäulen, die eine von einer Temperatur von 0°, und die andere von 100°, sein. Es ist demnach klar, daß der Druck gleich dem sein wird, der sich in einem umgekehrten Heber ABCD (Fig. 60), zeigt, dessen Arm CD mit einer Flüssigkeit, deren Dichtigkeit gleich der der Luft bei 0° und dessen eben so hoher Arm AB mit einer Flüssigkeit angefüllt sein wird, deren Dichtigkeit gleich der der Luft bei 100° sein wird. Der Druck würde noch derselbe, als der sein, welcher sich in dem Heber ABCD (Fig. 61), der ungleiche Schenkel hat, bei der ganzen Ausdehnung der Luft von 0° bis 100°, und in dem er ganz mit einer Flüssigkeit von gleicher Dichtigkeit, wie die Luft bei 100° hat, zeigt. In

beiden Fällen wird die warme Luftsäule AB durch das Gewicht der Säule CD, welches stets gleich dem einer kalten Luftsäule, die gleiche Höhe mit der warmen hat, ist, von unten in die Höhe getrieben.

384. Mittelst der einen oder der andern dieser Einrichtungen kann man leicht die Geschwindigkeit der Strömung der warmen Luft durch eine Röhre AB berechnen. Wir wollen zuvörderst die zweite und einfachste betrachten. Um diese Einrichtung analog der zu machen, welche Fig. 59 zeigt, müssen wir annehmen, daß die Röhre DC fortwährend durch ein zur Seite liegendes Reservoir mit einer Flüssigkeit gespeis't werde, deren Dichtigkeit gleich der der Luft von 100° ist, und daß diese Flüssigkeit durch das Ende A ausfließe. Führt man nun eine horizontale Ebene AA′, so ist es klar, daß die Säule DA′ diejenige ist, welche die Bewegung hervorbringt. Oder, wenn die flüssige Säule DA von dem Heber (Fig. 62) getrennt worden wäre, so weiß man sowol aus der Folgerung, als auch durch Erfahrung, daß die Geschwindigkeit der Ausströmung durch die Oeffnung A′ während eines sehr kurzen Zeitraumes zunimmt, worauf es constant und gleich dem freien Falle eines festen Körpers von DA′ werden wird. Die Aufgabe besteht dann in der Bestimmung der Veränderung, welche das Ausströmen durch Hinzufügen des Hebers A′CBA erleidet.

385. Wir wollen zuvörderst die Bewegung bei ihrem Ursprunge betrachten. Die Geschwindigkeit des Falles der Säule DA′ ist anfänglich sehr klein, und er wird noch aufgehalten, weil er sich mit der ganzen flüssigen, in dem Heber A′CBA befindlichen, Masse theilt. Diese Theilung ist den Massen proportional, und weder die Gestalt, die Richtung oder die Krümmung der Röhren veranlassen dabei eine Veränderung; denn da der Widerstand der Wände der Röhren senkrecht auf ihrer innern Oberfläche steht, so kann dieser Widerstand die parallel mit den Wänden laufende Bewegung nicht verändern. In dem darauf folgenden Augenblicke ist die Geschwindigkeit, mit welcher die Säule herunter zu gehen strebt, weit größer,

und da die Masse, mit welcher sie ihre Bewegung zu theilen genöthigt ist, während des ersten Augenblicks schon eine gewisse Schnelligkeit erlangt hat, so wird die gewöhnliche Geschwindigkeit vermehrt. Dasselbe findet mit den folgenden Augenblicken statt, und die gewöhnliche Geschwindigkeit wird so lange beschleunigt, bis die Geschwindigkeit der Ausströmung von A gleich dem Maximum des Ausströmens aus der abgesonderten Röhre DA′, d. h. bis daß die Geschwindigkeit in der Röhre BA gleich der ist, welche ein Körper erlangt, wenn er von der Höhe DA′ fällt; denn in diesem Augenblicke wird die durch DA′ ausströmende Flüssigkeit die Röhre A′CBA durchlaufen, wobei sie ihre Geschwindigkeit beibehält, als wenn die Röhre gerade und horizontal wäre.

386. In dem Beispiele, welches wir gewählt haben, beträgt die Höhe der warmen Luftsäule 50 Metr.; die Ausdehnung, welche die äußere kalte Luftsäule erleidet, indem sie sich von 0° bis 100° erhitzt, wird $0{,}00375 \times 100° \times 50 = 18{,}75$ Metr. betragen. Ein Körper, der von dieser Höhe herabfällt, würde 19,18 Metr. in der Secunde durchlaufen, und folglich wird diese Zahl die gesuchte Geschwindigkeit sein [1]).

387. Man könnte, wie wir schon gesagt haben, das Strömen durch den Heber DCBA (Fig. 60), dessen Arm DC voll Luft von 0°, und dessen Arm AB voll warmer Luft von 100° ist, betrachten; allein man muß dann beide Flüssigkeiten auf gleiche Dichtigkeit reduciren, damit man die

---

[1]) Bezeichnet man die Höhe der warmen Luftsäule mit h, die äußere Temperatur mit t, die innere mit t′, und die Ausdehnung der Luft für jeden Grad des hunderttheiligen Thermometers mit m; so ist die Höhe der auf 0° reducirten kalten Luftsäule $= \left(\frac{1}{1 + tm}\right)$ und die auf t′ geführte Höhe der Säule h $\left(\frac{1}{1 + tm}\right)(1 + t'm)$; folglich ist die Höhe der die Geschwindigkeit hervorbringenden Säule $= h \left\{\frac{1 + t'm}{1 + tm} - 1\right\}$ und die Geschwindigkeit wird durch folgende Formel ausgedrückt $v = \sqrt{2 g h \left\{\frac{1 + t'm}{1 + tm} - 1\right\}}$ (a) oder $v = \sqrt{2 g h \left\{\frac{(t' - t)m}{1 + tm}\right\}}$

durch den Arm AB ausgeströmte Flüssigkeit, als von der Röhre CD kommend, ansehen kann. Luft von 100°, indem sie sich bis zu 0° abkühlt, nimmt in dem Verhältnisse von 1,375 zu 1 ab; folglich wird die Höhe der zu 0° reducirten 50 Metr. hohen Luftsäule von 100° $50 \times \frac{1}{1,375} = 36,36$ Metr. betragen, und die der kalten Luftsäule, welche die Bewegung hervorbringt, 50 Metr. — 36,36 Metr. = 13,64. Folglich wird die Geschwindigkeit des Ausströmens, wie vorher, gleich der sein, die ein Körper erlangt, der von dieser Höhe herabfällt, d. h. 16,33 Metr. Allein diese Geschwindigkeit würde die der kalten und nicht die der warmen Luft sein; denn bei der gemachten Verwandlung haben wir für die warme Luftsäule eine kalte gleichen Werthes substituirt. Oder die Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit, welche unter gleichem Druck ausströmen, erlangen Geschwindigkeiten, die sich umgekehrt verhalten, wie die Quadratwurzeln ihrer Dichtigkeit. Um daher die Geschwindigkeit der warmen Luft zu finden, muß man die erhaltene Geschwindigkeit durch das Verhältniß der Quadratwurzel der kalten zu dem der warmen Luft, d. h. durch das Verhältniß der Quadratwurzel von 1 zu dem der von $\frac{1}{1,875}$, oder durch die Quadratwurzel von 1,375, oder endlich von 1,172 multipliciren, welches für die Geschwindigkeit der kalten Luft, wie vorher, 19,18 Metr. giebt [1]).

---

[1]) In diesem Falle ist die Höhe der auf die Dichtigkeit der äußern Luft reducirten warmen Luftsäule $h = \left(\frac{1 + t\,m}{1 + t'\,m}\right)$, die die Geschwindigkeit hervorbringende Höhe $h = \left(1 - \frac{1 + t\,m}{1 + t'\,m}\right)$ und die Geschwindigkeit wird durch die Gleichung

$$v = \sqrt{2\,g\,h\left(1 - \frac{1 + t\,m}{1 + t'\,m}\right)} \quad \text{(b) gegeben.}$$

Da nun die, durch die Gleichung (a) und die Gleichung (b) der vorhergehenden Anmerkung gegebenen Werthe von v, nur durch den letzten Factor von einander verschieden sind, so verhalten sie sich, wie die Quadratwurzeln dieser Factoren, oder $= \sqrt{\frac{1}{1 + t\,m}} : \sqrt{\frac{1}{1 + t'\,m}}$, d. h.

388. Ich stützte mich auf die Bestimmung der Geschwindigkeit der warmen Luft, weil die bis jetzt in dieser Hinsicht in andern Werken mitgetheilten Formeln nicht genau sind. Die Höhe der die Geschwindigkeit erzeugenden Säule wird in andern Werken, die über diesen Gegenstand handeln, durch die Differenz der äußern kalten Luftsäule und der der warmen Luftsäule, auf die Dichtigkeit der äußern Luft reducirt, ausgedrückt; allein die Geschwindigkeit, die man erhält, ist die, welche die kalte Luft unter demselben Druck haben würde, und nicht die unter dem der warmen Luft. Die Differenz kann sehr bedeutend sein, denn bei dem von uns ausgewählten Beispiele beträgt die Geschwindigkeit wirklich 19,18 Metr., während sie, nach dem obigen Princip berechnet, nur = 16,33 Metr. sein würde.

389. Tredgold hat in seinem Werke über die Dampfheizung (deutsche Uebersetzung von Kühn, Leipzig 1826) denselben Fehler begangen, welches man aus der unten angefügten Bemerkung ersehen kann [1]).

---

in umgekehrtem Verhältnisse der Quadratwurzel der Dichtigkeit der ausströmenden Flüssigkeit.

[1]) In der Anmerkung zu S. 109 der deutschen Uebersetzung giebt Tredgold den Ausdruck für die die Bewegung hervorbringende Kraft, $h\left(\frac{t-x}{450+t}\right)$; h ist die Höhe der warmen Luftsäule, t die Temperatur der warmen, x die der kalten Luft, $\frac{1}{450}$ die Ausdehnung der Luft für jeden Grad des Fahrenheitschen Thermometers.

Die Geschwindigkeit des Ausströmens der kalten Luft ist alsdann $v = \sqrt{2\,g\,h\left(\frac{t-x}{450+t}\right)}$. Um diese Formel mit der vorhergehenden zu vergleichen, muß man t in t′, x in t verwandeln, und $m = \frac{1}{450}$ machen, weshalb $450 = \frac{1}{m}$. Die Formel wird alsdann

$$\sqrt{2gh\left(\frac{t'-t}{\frac{1}{m}+t'}\right)} = \sqrt{2gh\left(\frac{mt'-mt}{1+mt'}\right)} = \sqrt{2gh\left(1-\frac{1+tm}{1+t'm}\right)},$$

eine mit der Formel (b) in der vorhergehenden Anmerkung identische Formel. Demnach giebt die Formel Tredgolds ebenfalls die Geschwindigkeit der kalten und nicht die der warmen Luft an.

390. Da die Bestimmung der Geschwindigkeit der warmen Luft so oft bei jeder Anwendung Wärme vorkommt, so ist es wichtig, eine einfache und rasch auszuführende Methode für diese Berechnungen zu haben. Die einfachste Methode besteht darin:

1) Die Ausdehnung zu bestimmen, welche die warme Luftsäule erleiden muß, um die Dichtigkeit der warmen Luft zu erhalten;

2) die Geschwindigkeit zu berechnen, mit welcher ein Körper von dieser Höhe herabfallen würde; diese Zahl wird die gesuchte Geschwindigkeit sein.

Um die erste Berechnung auszuführen, muß man zuvörderst die Luftsäule auf 0° reduciren, welches dadurch geschieht, daß man ihre Höhe durch $1 + t \times 0{,}00375$ dividirt, und sie darauf auf die Temperatur der warmen Luft zurückführt, indem man den Quotienten mit $1 + t' \times 0{,}00375$ multiplicirt, wobei t die Temperatur der kalten, und t' die der warmen Luft bezeichnet. Jedoch wird es in fast allen Fällen weit einfacher sein, die Höhe der warmen Luftsäule, welche den Druck veranlaßt, dadurch zu erhalten, daß man die Differenz der Temperatur der warmen und der äußern Luft mit der Zahl 0,00375, und dann mit der Höhe des Kamins multiplicirt. Man begeht freilich auf diese Weise einen kleinen Irrthum, allein er kann nie einen bemerkbaren Einfluß auf die Resultate haben, und die Berechnungen sind weit einfacher [1]).

---

[1]) Die scharfe Formel ist, wie wir oben in der Anmerkung zu 386 sahen

$$v = \sqrt{2\,g\,h\left(\frac{m\,(t' - t)}{1 + mt}\right)}.$$

t ist die Temperatur der äußern Luft, deren Maximum in unsern Klimaten selten 25° übersteigt; dann ist $1 + mt = 1 + 0{,}00375 \times 25 = 1 + 008375$, welches man ohne merklichen Irrthum $= 1$ setzen kann. Die Formel wird alsdann

$$v = \sqrt{2\,g\,h\,m\,(t - t)}\ (c).$$

391. Was nun die Bestimmung der Geschwindigkeit betrifft, die ein von der berechneten Höhe frei herabfallender Körper erlangt, so muß man aus der Zahl die Quadratwurzel ziehen, und sie mit 4,428 Metr. multipliciren. Letztere ist die Geschwindigkeit, mit welcher ein Körper von einem Metr. Höhe herabfällt. Um aber diese Berechnungen rascher zu machen, habe ich eine Tabelle berechnet, welche die Geschwindigkeiten, mit welchen ein Körper von 1 bis 120 Metres herabfällt, enthält. Wenn die Höhe nicht durch eine bestimmte ganze Metreszahl ausgedrückt ist, so muß man zu der, der ganzen Zahl correspondirenden, Geschwindigkeit die Differenz zwischen dieser Geschwindigkeit und der, der um 1 vermehrten, Zahl, multiplicirt mit dem Bruche, hinzufügen. Wollte man z. B. die einem Falle von 25,60 Metr. correspondirende Geschwindigkeit finden, so setzt man zuvörderst die für 25 Metr. = 22,14 Metr., und da sie nun von 25 zu 26 Metr. um 0,44 Metr. zunimmt, so wird für eine Höhe von 0,60 die Zunahme der Geschwindigkeit 0,44 × 0,60, oder 0,26 Metr., und folglich die einem Falle von 25,60 Metr. correspondirende Geschwindigkeit 22,14 + 0,26 = 22,40 Metr. betragen. Diese Schätzung der Zunahme der Geschwindigkeit, welche von den Decimalzahlen der Höhe kommt, ist nicht ganz scharf, aber für den betreffenden Zweck annähernd genug; denn wenn man die dem Falle von 25,60 correspondirende Geschwindigkeit direct berechnet, so erhält man statt 22,40 Metr. 22,41 Metr.

Tabelle über die Geschwindigkeiten, welche ein von verschiedenen Höhen herabfallender Körper annimmt.

Durchlaufener Raum.	Geschwindigkeit am Ende des Falles.	Durchlaufener Raum.	Geschwindigkeit am Ende des Falles.	Durchlaufener Raum.	Geschwindigkeit am Ende des Falles.
Metr.	Metr.	Metr.	Metr.	Metr.	Metr.
1.....	4,429	41.....	28,37	81.....	39,86
2.....	6,264	42.....	28,71	82.....	40,11
3.....	7,672	43.....	29,05	83.....	40,35
4.....	8,859	44.....	29,39	84.....	40,59
5.....	9,904	45.....	29,73	85.....	40,84
6.....	10,85	46.....	30,05	86.....	41,07
7.....	11,72	47.....	30,37	87.....	41,31
8.....	12,52	48.....	30,69	88.....	41,54
9.....	13,28	49.....	31,01	89.....	41,78
10.....	14,00	50.....	31,32	90.....	42,02
11.....	14,69	51.....	31,64	91.....	42,25
12.....	15,34	52.....	31,94	92.....	42,48
13.....	15,97	53.....	32,25	93.....	42,67
14.....	16,51	54.....	32,45	94.....	42,94
15.....	17,15	55.....	32,85	95.....	43,17
16.....	17,71	56.....	33,15	96.....	43,39
17.....	18,26	57.....	33,44	97.....	43,57
18.....	18,79	58.....	33,73	98.....	43,84
19.....	19,31	59.....	34,01	99.....	44,06
20.....	19,80	60.....	34,31	100.....	44,29
21.....	20,30	61.....	34,60	101.....	44,52
22.....	20,77	62.....	34,87	102.....	44,73
23.....	21,24	63.....	35,16	103.....	44,95
24.....	21,70	64.....	35,44	104.....	45,17
25.....	22,14	65.....	35,70	105.....	45,38
26.....	22,58	66.....	35,98	106.....	45,61
27.....	23,01	67.....	36,25	107.....	45,81
28.....	23,43	68.....	36,52	108.....	46,03
29.....	23,85	69.....	36,79	109.....	46,24
30.....	24,26	70.....	37,05	110.....	46,45
31.....	24,66	71.....	37,32	111.....	46,67
32.....	25,06	72.....	37,59	112.....	46,87
33.....	25,44	73.....	37,84	113.....	47,08
34.....	25,83	74.....	38,10	114.....	47,30
35.....	26,21	75.....	38,35	115.....	47,50
36.....	26,58	76.....	38,61	116.....	47,70
37.....	26,95	77.....	38,87	117.....	47,90
38.....	27,31	78.....	39,11	118.....	48,11
39.....	27,67	79.....	39,37	119.....	48,32
40.....	28,02	80.....	39,62	120.....	48,52

Um mit diesen Berechnungen bekannt zu werden, wird ein Beispiel hinreichend sein.

Die Röhre sei 50 Metr. hoch, die Temperatur der äußern Luft betrage 20°, und die constante Temperatur der warmen Luft 100°. Die Differenz der Temperatur ist = 100 — 20 = 80°.

Die die Geschwindigkeit erzeugende Höhe ist = 50 × 80 × 0,00375 = 15 Metr. Die Geschwindigkeit wird daher 17 Metr. 15 Centimetr. in der Secunde betragen.

392. Geschwindigkeit der verbrannten Luft. In dem Vorhergehenden haben wir angenommen, daß die Luft bei ihrer Erhitzung keine Veränderung erleide. In sehr vielen Heizapparaten ist dies wirklich der Fall; wenn aber die Luft sich erhitzt, indem sie die Verbrennung unterhält, so erleidet sie eine chemische Veränderung, die auf die Dichtigkeit Einfluß hat. Folglich ist auch unter gleichen Umständen die Geschwindigkeit ihres Ausströmens nicht dieselbe, wie die der reinen Luft.

393. Hat die Luft Kohle zur Verbrennung gedient, so ist ihr Sauerstoff in Kohlensäure verwandelt und der Stickstoff hat keine Veränderung erlitten. Da nun die atmosphärische Luft aus 79 Theilen Stick- und aus 21 Theilen Sauerstoffgas besteht, und da der Sauerstoff Veranlassung zur Entstehung von einem gleichen Volum Kohlensäure giebt; so wird vollkommen verbrannte Luft aus 79 Theilen Stickstoff- und aus 21 Theilen Kohlensäure zusammengesetzt sein, und man erhält offenbar die Dichtigkeit des Gemenges, wenn man die Mengen ihrer Gase mit ihrer Dichtigkeit multiplicirt, und die Summa mit 100 dividirt. Wenn daher die Dichtigkeit des Stickstoffes = 0,9757, und die der Kohlensäure = 1, 5245 ist; so wird das Gewicht der Kohlensäure

= 21 × 1,5245 = 32,01

das des Stickstoffes..... = 79 × 0,9757 = 77,08

und das von 100 Theilen des Gemenges.....109,09

betragen und die Dichtigkeit folglich = 1,09.

In den Heizapparaten wird aber die Luft nie vollkommen verbrannt, sondern ein Theil erwärmt sich stets, ohne eine Veränderung zu erleiden, und diese Menge ist sehr ver-

schieden; denn sie hängt von der Einrichtung des Verbrennungsapparates, von der Größe der Stücken des Brennmaterials, von seiner Lage, von den Dimensionen der Masse desselben, und auch, bei übrigens gleichen Umständen, von dem Zuge des Heerdes ab. Bei starkem Zuge ist sie sehr gering, und bei geringem Zuge sehr bedeutend. Bei gut construirten Heerden mit gehörigem Zuge, kann man, ohne merklichen Irrthum, die der Verbrennung entweichende Luftmenge auf die Hälfte annehmen, und die mit hinweggeführten brennbaren Materien, unter der Voraussetzung, daß sie nur während der kurzen Zeit des Heizens in bemerkbarer Menge vorhanden sind, unberücksichtigt lassen.

Demnach ist die Dichtigkeit der halbverbrannten Luft $= \frac{1 + 1{,}09}{2} = 1{,}045$.

394. Es ist nun leicht zu bestimmen, welchen Einfluß diese Zunahme der Dichtigkeit der warmen Luft auf die Geschwindigkeit des Ausströmens haben muß, denn die Dichtigkeit der warmen Luft geht aus der vorhergehenden Berechnung, multiplicirt mit 1,045, hervor, und die kalte, bis zur Temperatur der warmen verdünnte Luftsäule wird eine zu geringe Dichtigkeit in dem Verhältnisse von 1 : 1,045 haben. Um folglich ihre Höhe auf die zu reduciren, welche sie haben muß, müßte man sie durch 1,045 dividiren, und übrigens wie vorhin mit der Berechnung verfahren. In der Praxis ist es jedoch bequemer, alle Berechnungen so zu machen, als wenn die Luft keine Veränderung erlitten habe, und die erhaltene Geschwindigkeit mit der constanten Zahl 0,97 zu multipliciren [1]).

---

[1]) Die Geschwindigkeit ist, wie wir bemerkt haben:

$$\sqrt{2\,g\,h\left(\frac{1 + t'm}{1 + tm} - 1\right)\frac{1}{1{,}045}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{1{,}045}} \times \sqrt{2\,g\,h\left(\frac{1+t'm}{1+tm} - 1\right)} = 0{,}97 \times \sqrt{2\,g\,h\left(\frac{1+t'm}{1+tm} - 1\right)}$$

Im Allgemeinen müßte man die Geschwindigkeit, im Falle, daß die Luft rein ist, durch die Quadratwurzel des Verhältnisses der Dichtigkeit der reinen zu dem der veränderten Luft multipliciren.

Siebenzehntes Kapitel.

Theorie der Bewegungen der warmen Luft in einer cylinderförmigen Röhre, aus der Erfahrung abgeleitet.

395. Bei dem Vorhergehenden haben wir die Bewegungen der warmen Luft als vollkommen identisch mit denen einer Flüssigkeit von gleicher Dichtigkeit angesehen, und haben die Reibungen in den Leitungsröhren, welche sowol von ihrer Länge, als auch von ihrem Durchmesser und von der Geschwindigkeit des Stroms abhängen, unberücksichtigt gelassen. Die Gleichheit der Bewegung der Luft mit der der Flüssigkeit, wird durch eine große Anzahl von Experimenten, und besonders durch die neuerlich von dem Ober-Berg-Ingenieur d'Aubuisson angestellten, deren später weiter Erwähnung geschehen wird, bestätigt. Daß die Reibung einen Widerstand hervorbringen kann, der einen großen Einfluß auf die wirkliche Intensität der Geschwindigkeit hat, und daß, wenn dies der Fall ist, man Fehler erwarten darf, aus denen sich bedeutende Folgerungen machen lassen, wird man leicht einsehen; denn alle Wärmungs-Apparate und alle Operationen, durch die Wärme entwickelt, lassen sich, wie wir später sehen werden, nicht berechnen, wenn man nicht sehr genau die Gesetze der Bewegung der warmen Luft kennt. Es ist daher nothwendig zu untersuchen, ob die aus den vorhergehenden Berechnungen deducirten Geschwindigkeiten mit der Erfahrung übereinkommen.

396. Die folgende Tabelle enthält die Resultate einiger Beobachtungen und die berechneten Geschwindigkeiten.

Höhe des Kamins.	Temperat. der Luft.	Mittlere Temperat. der warmen Luft.	Beobachtete Geschwindigkeit in der Minute.	Berechnete Geschwindigkeit in der Minute.
Metr.			Metr.	
13,33	20	88	1,52	8,17
»	20	101	1,76	8,94
»	20	132	1,96	10,49

Man sieht aus der Tabelle, welcher große Unterschied zwischen der nach der vorhergehenden Methode berechneten, und der aus der Beobachtung hervorgehenden Geschwindigkeit stattfindet.

Gebraucht man die fehlerhaften Formeln, die bis jetzt überall angewendet worden sind, so erhält man geringere, aber dennoch sehr bedeutende Differenzen. Für die drei obigen Fälle betragen die correspondirenden Geschwindigkeiten 7,07, 7,73 und 8,75 Metres.

Man berechne daher die Geschwindigkeiten der warmen Luft durch die aufgeführte, oder durch die von andern Autoren und Professoren, die über die Wärme geschrieben oder gelehrt haben, mitgetheilte Methode, so erhält man stets bedeutend höhere Zahlen, als die durch die Beobachtung gefundenen sind.

397. Der obige Irrthum ist von allen guten Technikern schon längst erkannt, jedoch nur vom Baron Dupin in seinem Cours normal und von Payen in dem Artikel Kamin des Dictionnaire technologique erwähnt worden. Nachdem Payen die Art angegeben hat, wie man die Geschwindigkeit der Luft in einer senkrechten Röhre findet, und daraus den Durchmesser eines Kamins, welches zur Verbrennung einer gewissen Kohlenmenge bestimmt ist, deducirt, fügt er noch hinzu: »Um den Berechnungen die gehörige Schärfe zu geben, müßten dabei einige andere Elemente, wie die verschiedenen Temperaturen der Atmosphäre, die Kraft und die Richtung des Windes, die Sonnenstrahlen, der sich nach und nach in der Röhre ansetzende Ruß ꝛc., berücksichtigt werden; allein diese sind so verschiedenartig, daß es am besten ist, man bleibt in den durch die Erfahrung gegebenen Gränzen. Bei einem solchen Calcul müßte man die Oberfläche des geringsten für den Durchgang des Rauchs gefundenen Durchschnittes verfünffachen.«

Es geht hieraus hervor, daß Payen sehr gut bemerkt hat, daß die durch das Calcul gegebene Geschwindigkeit nicht mit der durch die Beobachtung gefundenen übereinstimmt; allein

dieser geschickte Techniker führt für diese Differenz Umstände an, deren Einfluß bei den Kaminen der Flammenöfen in Hütten, die einen sehr starken Zug haben, nur zufällig und stets sehr gering ist. Wir werden dies in der Folge zu sehen Gelegenheit haben.

Indessen da die Geschwindigkeiten, welche in der obigen Tabelle aufgeführt worden, in einer ruhigen Zeit, in Kaminen, die vor der Sonne geschützt sind und in denen sich kein Ruß abgesetzt hat, beobachtet worden sind; so muß man die fragliche Differenz in der Bewegung der Luft in den Kaminen selbst, und nicht in Nebenumständen suchen.

398. Ich habe es versucht, den Widerstand, den die Luft auf ihrer Bewegung durch die Leitungsröhren erlitten hat, durch directe Versuche zu bestimmen. Zu dem Ende ließ ich Kamine von Ziegelsteinen, von Eisenblech und Gußeisen machen, und wendete einen verschiedenen Durchmesser, verschiedene Höhe und auch eine verschiedene Temperatur der circulirenden Luft an. Mit großer Genauigkeit habe ich die Zeit bestimmt, welche die Luft gebrauchte, um sie zu durchströmen, woraus ich die Geschwindigkeit der Luft für jeden einzelnen Fall leicht deducirt habe. Bei der Vergleichung der durch die Erfahrung erhaltenen Zahlen, habe ich gefunden, daß der Widerstand, welchen die Leitungsröhren der Bewegung der Luft entgegensetzen, proportional ihrer Länge, dem Quadrate der Geschwindigkeit ist, und im umgekehrten Verhältnisse zu dem Durchmesser steht, und ich habe den Factor gefunden, mit welchem man die theoretische Geschwindigkeit multipliciren muß, um die wirkliche zu erhalten.

Dies ist der Zweck und das Resultat einer sehr großen Arbeit, welche mit aller der Sorgfalt und Genauigkeit, die ich anzuwenden vermochte, ausgeführt worden ist.

Ich werde den Apparat, dessen ich mich bedient habe, und die Art der Beobachtung beschreiben, werde auch die erhaltenen practischen Resultate mittheilen. Auf die Einzelnheiten des Calculs werde ich in einer Anmerkung zu Ende dieses Bandes zurückkommen.

399. Alle Kamine sind nach und nach auf einem und demselben Ofen, von welchem Fig. 63 einen Längendurchschnitt giebt, errichtet worden. Dies war erforderlich, damit die Apparate nur hinsichtlich der Kamine verschieden seien. Die Flamme, die warme Luft, oder der Rauch zogen unmittelbar in den Kamin, damit die Bewegung nicht durch Circulation aufgehalten werde, und damit der durchströmte Raum nur die Höhe des Kamins sei. Dem Rost hatte ich, im Verhältniß zu dem Durchmesser der größten Kamine, sehr große Dimensionen gegeben, damit das Brennmaterial nicht dessen ganze Oberfläche bedeckt, die Luft ohne Hinderniß eindringen kann, und der Luftstrom nicht auf seinem Laufe durch die Zwischenräume des Brennmaterials aufgehalten werde. Die Oeffnung des Aschenfalles war auch größer, als es sonst die bei den größten Kaminen sind.

400. An beiden Enden des Kamins befanden sich zwei Queckſilber-Thermometer, deren Skalen bis zu 300° reichten, und welche bis zu dieser hohen Temperatur mit einander verglichen worden waren. Die Röhre des untern Thermometers ging durch die Wände des Kamins und war mit Erde darin befestigt; die Kugel des Thermometers reichte bis mitten in den Kamin. Das obere Thermometer war mittelst dreier Eisendräthe senkrecht mitten in den Kamin aufgehängt worden.

Das Brennmaterial, dessen ich mich bediente, bestand in gut gebrannter Holzkohle ohne Brände, damit sich kein bemerkbarer Rauch entwickeln konnte.

401. Um die Geschwindigkeit der warmen Luft zu messen, muß man in dem Heerde plötzlich Rauch hervorbringen und die Zeit bobachten, welche derselbe gebraucht, um zu dem Ende des Kamins zu gelangen. Bei meinen ersten Versuchen spritzte ich auf die Kohlen etwas Terpentinöl; allein ich bemerkte bald, daß dieses Verfahren fehlerhaft sei, weil die rasche Verbrennung dieses Oels die Temperatur des Heerdes plötzlich erhob und die Thermometer dennoch nur geringe Veränderungen erlitten, indem sich die Instrumente mit der umgebenden Luft nur sehr langsam ins Gleichgewicht setzen. Auch ent-

ſtand durch die ſich bildenden Dämpfe eine Art von Detonation, die zuweilen ſo heftig war, daß die Thür des Ofens weggeſchleudert wurde. Endlich veränderte die große Rauch- und Dampfmenge, welche entſtand, die Dichtigkeit der warmen Luft ſehr bedeutend. Ich ſtand daher von dieſem Verfahren ab und wendete dafür ein anderes, weit einfacheres an, welches keiner von den erwähnten Unbequemlichkeiten unterworfen iſt.

402. Ich befeſtigte an das Ende einer Eiſenſtange eine Flocke Baumwolle, die ich darauf in Terpentinöl eintauchte. Dieſer Docht wurde angezündet und von einem Gehülfen durch das Aſchenloch raſch unter den Roſt gebracht und eben ſo bald zurückgezogen. Hierdurch blieb die Flamme des verbrennenden Terpentinöles nur eine ſehr kurze Zeit unter dem Brennmaterial, konnte keinen bemerkbaren Einfluß auf die Temperatur der warmen Luft ausüben, und brachte nur eine ſehr geringe Menge von Rauch und Dämpfen in die Luft. Die auf dieſe Weiſe gemachten Verſuche haben daher unter gleichen Umſtänden vollkommen identiſche Reſultate gegeben, welches bei der erſtern Methode durchaus der Fall nicht war.

403. Die Zeit wurde durch die Schläge einer Taſchenuhr gemeſſen, die täglich mit einem Pendel von bekanntem Gange verglichen wurde. Auf ein gegebenes Signal, fing ich die Schläge der Taſchenuhr mit lauter Stimme zu zählen an, ein Gehülfe brachte den angezündeten Docht unter den Roſt, zwei andere beobachteten den Thermometerſtand am obern und untern Ende des Kamins, und der am obern Ende ſtehende Gehülfe erwartete auch die Ankunft des Rauchs und bemerkte, indem er die Schläge der Uhr zählen hörte, die Zahl, bei welcher er erſchien. Zieht man nun eine Einheit von dieſer Zahl ab, ſo erhält man die Dauer der nach Schlägen geſchätzten Strömung, und kennt man die Zahl der Schläge während einer Minute, ſo erhält man die Dauer der Strömung in Secunden; kennt man nun endlich die Diſtanz von dem Roſt bis zum obern Ende des Kamins, ſo iſt es leicht, die Geſchwindigkeit der Luft in einer Secunde zu finden.

Bei gleichen Umständen wurde ein und derselbe Versuch so oft wiederholt, bis daß man identische oder höchstens nur um eine Einheit von einander abweichende Resultate erhielt. Im Allgemeinen habe ich stets die größte Gleichförmigkeit bei den auf einander folgenden Beobachtungen bemerkt, und fand nur dann Anomalien, wenn die Luft unruhig war; solche Beobachtungen wurden dann verworfen. Man wird leicht einsehen, daß ich bei der großen Schnelligkeit und Einfachheit der Experimente, sehr viele machen mußte; oft dauerten sie nur, mit Einschluß der Zeit, in welcher die Resultate notirt wurden, eine Minute und konnten ohne Unterbrechung auf einander folgen.

404. Um jedoch die Resultate dieser Versuche mit den durch die Theorie gegebenen Versuchen vergleichen zu können, mußte man auch für jeden Fall die Dichtigkeit der warmen Luft kennen. Eine große Anzahl von Analysen von verbrannter Luft haben mich überzeugt, daß die Menge der der Verbrennung entgehenden Luft sehr verschieden sei, man aber im Allgemeinen drei Viertel im Rauche befindlicher reiner Luft annehmen dürfe. Da aber der sich entwickelnde, sehr theilbare Kohlenstoff die Dichtigkeit der warmen Luft etwas vermehrt, so habe ich die Dichtigkeit gleich der, der zur Hälfte verbrannten, Luft angenommen. Uebrigens konnte der hierbei zu begehende Fehler, wegen des wenigen Sauerstoffes, welcher in der Luft enthalten ist, nur einen geringen Einfluß auf die Geschwindigkeit haben.

Folgendes sind die Dimensionen der nach einander auf dem Ofen errichteten Kamine, die Höhe von dem Rost an gerechnet.

Thönerne, cylinderförmige Kamine.

Höhe	3,65 Metr.	Innerer Durchmesser	0,2115 Metr.
»	6,80 »	» »	» »
»	9,95 »	» »	» »
»	3,65 »	» »	0,175 Metr.
»	6,80 »	» »	» »
»	9,95 »	» »	» »

Höhe	3,93	Metr.	Innerer Durchmesser	0,12	Metr.
»	7,08	»	» »	»	»
»	10,23	»	» »	»	»
»	13,38	»	» »	»	»
»	7,08	»	» »	»	»
»	3,93	»	» »	0,08	»
»	10,23	»	» »	»	»
»	13,38	»	» »	»	»

Kamine von Blech.

Höhe	4,11	Metr.	Innerer Durchmesser	0,095	Metr.
»	7,00	»	» »	»	»
»	10,58	»	» »	»	»
»	13,98	»	» »	»	»
»	16,78	»	» »	»	»

Kamin von Gußeisen.

Höhe	17,05	Metr.	Innerer Durchmesser	0,20	Metr.

Wir wollen jetzt die Resultate, die ich erhalten habe, näher betrachten.

405. Herr Ober-Berg-Ingenieur d'Aubuisson hat in einer sehr schönen Arbeit über die »Kastengebläse bei den Eisenhütten im südwestlichen Frankreich« (Karsten's Archiv, Bd. XVI. S. 107 ꝛc.) gefunden, daß der Widerstand, den die Leitungsröhren der Bewegung der Gebläseluft entgegensetzen, proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit und der ersten Potenz der Länge der Röhre sei, und im umgekehrten Verhältnisse zu ihrem Durchmesser stehe. Es ist von großer Wichtigkeit, zu beweisen, ob die Röhren der Bewegung der warmen Luft einen denselben Gesetzen folgenden Widerstand entgegensetzen. Da meine Versuche diesen Widerstand nicht direct angaben, so habe ich das Vorhandensein eines solchen Gesetzes angenommen. Ich habe die correspondirenden Geschwindigkeiten für jeden besondern Fall berechnet und mit denen verglichen, welche die Erfahrung giebt. Es geht aus dieser Vergleichung die vollkommenste Uebereinstimmung hervor.

Ich nehme es daher als eine ausgemachte Thatsache an, daß der Widerstand, den die Leitungsröhren den Bewegungen

der warmen Luft entgegensetzen, proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit und der Länge der Röhren ist, und im umgekehrten Verhältnisse zu dem Durchmesser steht.

406. Es geht aus der Vergleichung von mehr als 1500 Beobachtungen hervor, daß, um die wirkliche Geschwindigkeit der reinen warmen Luft zu erhalten, man die theoretische Geschwindigkeit durch einen Factor multipliciren müsse, der, je nachdem der Kamin von Thon, von Blech oder von Gußeisen construirt, verschieden ist.

Für Thon oder Ziegelsteine besteht dieser Factor aus der Zahl 2,06, multiplicirt mit der Quadratwurzel von dem Durchmesser der Röhre, die mit der Länge und dem Vierfachen des Durchmessers dividirt worden [1]).

Für Blech besteht er aus der Zahl 3,25, multiplicirt mit der Quadratwurzel des Durchmessers, die mit der Länge und mit dem Zehnfachen des Durchmessers der Röhre dividirt worden ist [2]).

Für Gußeisen endlich besteht er aus der Zahl 4,61, multiplicirt mit der Quadratwurzel des Durchmessers, die mit der Länge und dem Zwanzigfachen des Durchmessers der Röhre dividirt worden ist [3]).

Diese Zahlen beziehen sich auf das Ausströmen der reinen Luft. Will man aber die Geschwindigkeit der zur Hälfte verbrannten Luft haben, so muß man, wie wir schon oben (394) bemerkt haben, die erhaltene Geschwindigkeit noch mit 0,97 multipliciren [4]).

---

[1]) Dieser Factor wird durch $2{,}06 \sqrt{\frac{D}{L + 4\,D}}$ ausgedrückt, wobei D der Durchmesser und L die Länge der Röhre bezeichnet.

[2]) Dieser Factor wird durch $3{,}25 \sqrt{\frac{D}{L + 10\,D}}$ ausgedrückt.

[3]) Dieser Factor wird durch $4{,}61 \sqrt{\frac{D}{L + 20\,D}}$ ausgedrückt.

[4]) Die sich auf die verbrannte Luft beziehenden Factoren sind alsdann:

407. Um daher die Geschwindigkeit des Luftstroms in einem Kamine zu erhalten, muß man die Differenz der Temperatur der äußern Luft mit der Höhe des Kamins und mit der Zahl 0,00375 multipliciren; man erhält dann den Druck, welcher die Bewegung hervorbringt (390). Multiplicirt man die Quadratwurzel dieses Productes mit der Zahl 4,429, so erhält man die theoretische Geschwindigkeit, wie sie ohne Reibung sein würde (390). Um alsdann die wirkliche Geschwindigkeit zu erhalten, muß man die erhaltene Zahl durch einen der obigen Factoren, wobei die Beschaffenheit des Kamins zu berücksichtigen ist, multipliciren, und wenn man mit verbrannter Luft zu thun hat, so muß man dieses letztere Product auch noch mit 0,97 multipliciren [1]).

---

für Ziegelsteine $f = 1{,}998 \sqrt{\frac{D}{L + 4\,D}}$;

für Blech $f = 3{,}16 \sqrt{\frac{D}{L + 10\,D}}$;

für Gußeisen $f = 4{,}47 \sqrt{\frac{D}{L + 20\,D}}$.

[1]) Wir sahen oben, daß die theoretische Geschwindigkeit durch die Formel $v = \sqrt{2\,g\,h\,m\,(t' - t)}$ ausgedrückt werde. Multiplicirt man nun das zweite Glied mit den Factoren in der vorigen Anmerkung und substituirt für g ihren Werth, so werden die Geschwindigkeiten der verbrannten Luft durch folgende Formeln ausgedrückt:

bei Kaminen von Ziegelsteinen od. Thon $V = 8{,}85 \sqrt{\frac{h\,m\,(t' - t)\,D}{L + 4\,D}}$;

für Kamine von Blech $V = 14 \sqrt{\frac{h\,m\,(t' - t)\,D}{L + 10\,D}}$;

für Kamine von Gußeisen $V = 19{,}80 \sqrt{\frac{h\,m\,(t' - t)\,D}{L + 20\,D}}$.

Und für das Ausströmen der reinen Luft sind die Formeln folgende:

für thönerne Kamine $V = 9{,}12 \sqrt{\frac{h\,m\,(t' - t)\,D}{L + 4\,D}}$;

für blecherne Kamine $V = 14{,}43 \sqrt{\frac{h\,m\,(t' - t)\,D}{L + 10\,D}}$;

für gußeiserne Kamine $V = 20{,}41 \sqrt{\frac{h\,m\,(t' - t)\,D}{L + 20\,D}}$.

Die folgende Tabelle giebt die Elemente einer gewissen Anzahl von Versuchen, so wie die beobachteten und die nach den vorhergehenden Methoden berechneten Geschwindigkeiten an.

Höhe über dem Rost.	Innerer Durchmesser.	Uebermaaß der mittlern Temperatur der warmen Luft, über die der äußern.	Druck der warmen Luft.	Beobachtete Geschwindigkeit.	Berechnete Geschwindigkeit.
Kamine von Thon.					
Metr.	Metr.		Metr.		
3,65	0,2115	45°	0,616	1,33	1,40
»	»	49	0,670	1,52	1,49
»	»	69	0,944	1,82	1,85
»	»	88	1,205	2,10	2,02
»	»	148	2,025	2,70	2,64
»	»	220	3,011	3,22	3,27
6,80	»	66	1,683	1,90	1,85
»	»	80	2,040	2,20	2,24
»	»	142	3,620	2,66	2,75
»	»	155	3,952	3,00	2,91
»	»	157	4,004	3,12	2,95
»	»	230	5,848	3,60	3,54
9,95	»	42	1,567	1,48	1,49
»	»	72	2,686	1,85	1,94
»	»	81	3,022	1,99	2,12
»	»	101	3,768	2,28	2,37
»	»	125	4,664	2,70	2,64
»	»	154	5,745	2,87	2,91
»	»	200	7,46	3,40	3,36
3,65	0,175	37	0,50	1,14	1,14
»	»	60	0,82	1,52	1,58
»	»	80	1,09	1,82	1,85
»	»	137	1,84	2,28	2,37
»	»	221	3,02	3,04	3,09
6,80	0,175	30	0,76	1,16	1,15
»	»	45	1,15	1,37	1,41
»	»	57	1,45	1,66	1,59
»	»	80	2,04	1,80	1,93
»	»	95	2,42	2,12	1,97

Höhe über dem Rost.	Innerer Durchmesser.	Uebermaaß der mittlern Temperatur der warmen Luft, über die der äußern.	Druck der warmen Luft.	Geschwindigkeit. Beobachtete	Geschwindigkeit. Berechnete
Kamine von Thon.					
Metr.	Metr.		Metr.		
6,80	0,175	159	4,05	2,68	2,57
»	»	210	5,30	3,00	3,09
9,95	0,175	40	1,49	1,20	1,32
»	»	75	2,79	1,73	1,85
»	»	96	3,58	2,20	2,12
»	»	127	4,73	2,47	2,38
3,93	0,12	87	1,28	1,43	1,58
»	»	117	1,72	1,72	1,85
»	»	181	2,66	2,20	2,37
»	»	227	3,34	2,75	2,65
7,08	0,12	42	1,11	1,14	1,15
»	»	98	2,60	1,77	1,73
»	»	165	4,38	2,18	2,29
»	»	230	6,09	2,83	2,74
10,23	0,12	53°	2,03	1,36	1,32
»	»	80	3,06	1,63	1,59
»	»	121	4,63	2,70	1,94
»	»	132	5,06	1,90	2,03
»	»	141	5,40	2,00	2,11
»	»	164	6,29	2,12	2,29
»	»	237	9,07	2,70	2,83
13,38	0,12	68	3,41	1,52	1,49
»	»	81	4,06	1,76	1,58
»	»	112	5,61	1,96	1,94
»	»	243	12,19	2,95	2,83
3,93	0,08	43	0,63	0,83	0,94
»	»	82	1,20	1,40	1,31
»	»	113	1,66	1,60	1,49
»	»	210	3,08	2,00	2,12
7,08	0,08	50	1,32	0,92	1,06
»	»	94	2,49	1,57	1,41
»	»	114	3,02	1,70	1,58
»	»	133	3,53	1,78	1,67

Höhe über dem Rost.	Innerer Durchmesser.	Uebermaaß der mittlern Temperatur der warmen Luft, über die der äußern.	Druck der warmen Luft.	Geschwindigkeit. Beobachtete	Geschwindigkeit. Berechnete
Kamine von Thon.					
Metr.	Metr.		Metr.		
7,08	0,08	147	3,90	1,90	1,76
»	»	176	4,67	2,15	1,93
»	»	220	5,83	2,31	2,21
10,23	»	53	3,01	1,28	1,32
»	»	102	3,87	1,60	1,50
»	»	171	6,55	2,17	1,94
13,38	»	48	2,40	1,02	1,06
»	»	96	4,80	1,58	1,50
»	»	120	6,02	1,67	1,58
»	»	217	10,85	2,32	2,21
Kamine von Blech.					
4,11	0,095	66	1,01	1,67	1,81
»	»	93	1,43	2,11	2,23
»	»	167	2,57	2,82	2,91
7,00	0,095	208	5,46	3,30	3,48
10,58	0,095	136	5,39	2,93	2,91
»	»	166	6,58	3,30	3,21
»	»	178	7,06	3,49	3,34
13,98	0,095	162	8,49	3,32	3,21
16,78	0,095	170	10,69	3,50	3,34
Kamine von Gußeisen.					
17,05	0,20	80	5,11	4,26	4,35
»	»	92	5,88	4,73	4,87
»	»	108	6,90	5,32	5,39

Man ersieht aus der Tabelle, daß die Differenzen zwischen den beobachteten und den berechneten Geschwindigkeiten so gering sind, als man bei solchen Untersuchungen es erwar=

ten darf. Demnach dürfen wir auf die Genauigkeit der oben aufgeführten Formeln rechnen.

408. Ueber die rechtwinklichen Kamine habe ich weiter keine fortgesetzte Versuche gemacht, allein einige wenige Versuche lassen mich nicht zweifeln, daß die Bewegungen in denselben gleichen Gesetzen folgen, als in den cylindrischen Kaminen. Bei den abgeplatteten muß man die kleinste Seite zum Diameter nehmen.

409. Wenn ein Kamin eine horizontale Richtung hat, ehe er sich senkrecht erhebt, oder wenn er von seiner Richtung abweicht, so muß man als Höhe immer die senkrechte Entfernung der beiden Enden, und als Länge der Röhre ihre ganze Ausdehnung annehmen [1]). Dieser Fall kommt bei Oefen und Heerden sehr häufig vor, weil man die warme Luft fast stets circuliren läßt, ehe sie in den Kamin übergeht.

410. Wir wollen jetzt noch ein Beispiel von solch einer Berechnung betrachten. Man nehme einen von Ziegelsteinen konstruirten Kamin von 20 Metr. Höhe und 0,3 Metr. lichtem Durchmesser an, der den Rauch von einem Heerde aufnimmt, in welchem die warme Luft um eine Pfanne von 2 Metr. Länge und 1 Metr. Breite circulirt. Man nehme ferner an, daß die Differenz zwischen der Temperatur der äußern und der mittlern Temperatur der warmen Luft 150° betrage.

Die Höhe der warmen Luft, welche die Bewegung bestimmt, ist $= 20$ Metr. $\times$ 150 $\times$ 0,00375 $=$ 11,25 Metr. Die theoretische Geschwindigkeit würde demnach (siehe Tabelle zu 391) $=$ 14,84 Metr. betragen. Die Länge des Kanals, welchen der Rauch durchströmt, ehe er in den Kamin gelangt, beträgt ohngefähr 6 Metr.; demnach wird der Factor 2,06, multiplicirt mit der Quadratwurzel von $\frac{0\,3}{26 + 1,2} = \frac{27,2}{0,3} = 0,110$ sein; oder da die Quadratwurzel

---

[1]) Aus diesem Grunde hat man bei den übrigen Formeln h und L unterschieden.

dieser Zahl = 0,104 ist, so wird der Factor = 2,06 × 0,104 = 0,214 sein.

Demnach wird also die wirkende Geschwindigkeit der reinen Luft = 14,84 × 0,214 = 3,17 und die der verbrannten Luft folglich = 3,17 × 0,95 = 3,05 sein [1]).

Achtzehntes Kapitel.

Bewegung der warmen Luft in einer cylinderförmigen, oben verengten Röhre.

411. Ehe ich Versuche über diesen Gegenstand gemacht hatte, dachte ich, wie dies auch auf den ersten Blick evident zu sein scheint, die Geschwindigkeit müsse an der Oeffnung constant bleiben, das Verhältniß zwischen dem Durchmesser der Ausgangsöffnung und dem des Kanals selbst sei welches es wolle, und folglich müsse der Aufwand der mittlern Geschwindigkeit proportional der Oberfläche der Oeffnung abnehmen. Ich war sehr erstaunt, als ich Resultate fand, die mit diesem Gesetz durchaus nicht übereinstimmten. Die Versuche wurden mit verschiedenen Kaminen wiederholt, und es wurden dabei alle möglichen Vorsichtsmaaßregeln angewendet, damit die warme Luft durch keine andere Oeffnung, als durch die der Blendung (Diaphragme) durchgehen konnte, allein ich erhielt fast immer sehr ähnliche Resultate. Indem ich über diese anscheinende Anomalie nachdachte, fand ich sehr bald die Ursache derselben, und sah wirklich auch eben sobald, daß die mittlern Geschwindigkeiten weit weniger schnell abnehmen müssen, als die Durchschnitte der Oeffnungen, und daß das von d'Aubuisson erkannte Gesetz für das Ausströmen der kalten Luft aus einem Reservoir von großen Dimensionen, durch

---

[1]) Kallstenius »Versuch zur Bestimmung der Luftmenge, welche bei einem vollen Zuge durch den Flammenofen strömt,« in Karsten's Archiv, Bd. V. 345. H.

Oeffnungen, die durch dünne Wände gebohrt worden sind, für die Kamine nicht stattfinden könne.

412. Ehe ich die Resultate meiner Experimente darlege, werde ich erst die von Herrn d'Aubuisson über das Ausströmen der von einem Gasometer zusammengedrückten Luft gemachten mittheilen.

Wenn man Luft, oder irgend eine elastische Flüssigkeit, in eine hölzerne oder metallene, oben verschlossene, unten aber offene und in ein Gefäß voll Wasser eingetauchte Glocke einschließt, so wird der von dem Gase getragene Druck offenbar durch die Differenz des Niveaus der innern und der äußern Flüssigkeit gemessen. Bohrt man darauf eine Oeffnung in die Wand des Gasometers, so wird sich die Luft mit einer gewissen Geschwindigkeit entwickeln. Indem nun d'Aubuisson diese Geschwindigkeit auf dieselbe Weise, wie eine demselben Druck unterworfen gewesene Flüssigkeit berechnete, fand er, daß die wirkliche Geschwindigkeit, die er schätzte, indem er die in der Zeit verbrauchte Gasmenge maß, merklich abhängig von dem Durchmesser der Oeffnung, und kleiner, als der berechnete Verbrauch sei, und daß, um die erstere von der letztern zu deduciren, man ihn mit 0,65 multipliciren müsse, wenn das Ausströmen aus Oeffnungen in dünnen Wänden

mit 0,93, wenn es durch eine kurze cylindrische Röhre, und

mit 0,95, wenn es durch einen konischen, sich etwas erweiternden Absatz stattfindet [1]).

Auf den ersten Blick scheint es, daß, da die Luft in einem Kamine wie in einem Gasometer zusammengedrückt wird, es müßten dieselben Gesetze obwalten; allein die Aehnlichkeit ist nicht so groß, als sie zu sein scheint. In einem Gasometer ist die Höhe gewöhnlich gering, und die andern

---

[1]) Nennt man h die Differenz des Niveaus des Wassers, und d' die Dichtigkeit des zusammengepreßten Gases, so wird der Druck bei Gasen von derselben Dichtigkeit offenbar $\frac{h}{d'}$, und die correspondirende Dichtigkeit $v = \sqrt{\frac{2 g h}{d'}}$ sein.

Dimensionen sind, in Beziehung auf die der Abzugsöffnung, bedeutend, so daß die Geschwindigkeit der Luft in dem Gasometer stets sehr klein in Beziehung auf die, welche an der Abzugsöffnung stattfindet, ist, weshalb man die Reibung der Luft in dem Gasometer unberücksichtigt lassen kann. In den Kaminen ist es anders; diese sind stets lang und eng. Der Druck am obern Ende ist stets nur ein Bruch von dem, die Bewegung hervorbringenden, Druck, und dieser Bruch wird im Verhältniß der abnehmenden Geschwindigkeit im Kamin, und proportional ihres Quadrats, größer; so daß der Druck am obern Ende genau genommen nur dann gleich dem ist, welcher die Bewegung hervorbringt, wenn die Geschwindigkeit Null ist. Man sieht demnach, daß, je kleiner man die obere Oeffnung eines Kamines macht, und je mehr die Geschwindigkeit abnimmt, der Druck oben um so größer wird, und folglich muß die Geschwindigkeit des Zuges durch sich verengende Oeffnungen weniger abnehmen, als die Oberflächen derselben; d. h. weniger rasch, als die Quadrate ihrer Durchmesser. Dies ist auch durch die Erfahrung vollkommen bestätigt. Ich theile hier bloß die von drei Kaminen erhaltenen Resultate mit. Die vergleichenden Resultate sind bei gleicher Temperatur erhalten [1]).

---

1) Man kann die Formeln, welche die Geschwindigkeit in den Oeffnungen geben, leicht erhalten. S. die Anmerkung 2. am Ende dieses Bandes.

Bezeichnet man den die Bewegung erzeugenden Druck mit P, den Durchmesser des Kanals mit D, den der Oeffnung mit d, so erhält man für die Geschwindigkeit in der Oeffnung folgende sich auf verbrannte Luft beziehende Formeln:

Kamine von Ziegelsteinen.

Die Oeffnung in einer dünnen Wand $v = \frac{1}{d^2} 13{,}68 \sqrt{\frac{P D^5}{L + 9{,}52 \frac{D^5}{d^4}}}$;

cylinderförmige Oeffnung $v = \frac{1}{d^2} 9{,}516 \sqrt{\frac{P D^5}{L + 4{,}624 \frac{D^5}{d^4}}}$;

413. Man ersieht aus der bloßen Ansicht dieser Resultate, daß die mittlern Geschwindigkeiten in den Kaminen nicht

---

sich erweiternde Oeffnung $v = \frac{1}{d^2}\ 9{,}315 \sqrt{\frac{P\,D^5}{L + 4{,}444\,\frac{D^5}{d^4}}}$.

Kamine von Blech.

Die Oeffnung in einer dünnen Wand $v = \frac{1}{d^2} 21{,}53 \sqrt{\frac{P\,D^5}{L + 23{,}81\,\frac{D^5}{d^4}}}$;

cylinderförmige Oeffnung $v = \frac{1}{d^2}\ 15{,}05 \sqrt{\frac{P\,D^5}{L + 11{,}62\,\frac{D^5}{d^4}}}$;

sich erweiternde Oeffnung $v = \frac{1}{d^2}\ 14{,}71 \sqrt{\frac{P\,D^5}{L + 11{,}11\,\frac{D^5}{d^4}}}$.

Kamine von Gußeisen.

Die Oeffnung in einer dünnen Wand $v = \frac{1}{d^2}\ 30{,}46 \sqrt{\frac{P\,D^5}{L + 47{,}61\,\frac{D^5}{d^4}}}$;

cylinderförmige Oeffnung $v = \frac{1}{d^2}\ 21{,}29 \sqrt{\frac{P\,D^5}{L + 23{,}25\,\frac{D^5}{d^4}}}$;

sich erweiternde Oeffnung $v = \frac{1}{d^2}\ 20{,}84 \sqrt{\frac{P\,D^5}{L + 22{,}22\,\frac{D^5}{d^4}}}$.

Die sich auf die frische Luft beziehenden Formeln werden aus den vorhergehenden deducirt, wenn man die Coefficienten mit $\frac{1}{0{,}93}$ multiplicirt (394).

Kamine von Ziegelsteinen von 3,85 Metr. Höhe, und von 0,2115 M. Durchmesser.

	Durchmesser.	Oberfläche.	Geschwindigkeit in dem Kanal.
Die obere Oeffnung frei	= 0,2115,	= 0,035,	1,15
Blendung von (6 Zoll)	= 0,165,	= 0,0213,	1,22
» » (4 Zoll)	= 0,11,	= 0,0095,	0,63
» » (2 Zoll)	= 0,055,	= 0,0023,	0,17
» » (1 Zoll)	= 0,027,	= 0,0006,	0,045

so rasch abnehmen, als die Oberflächen der Oeffnungen. Es steht dies Resultat in vollkommenem Einklange mit denen, die d'Aubuisson für das Ausströmen der kalten Luft erhalten hat. Die Windleitung war 387 Metr. lang, und 0,10 Metr. weit; an dem Ende wurden nach und nach Deupen von 0,02, 0,03, 0,04 und 0,05 Metr. befestigt, und man bestimmte die correspondirenden Geschwindigkeiten. Darauf berechnete man die, welche durch dieselben Deupen unmittelbar aus dem Sammelkasten des Gebläses ausgeströmt sein würden. Folgendes sind die durch Beobachtung gefundenen Resultate der Pressung:

Durchmesser der Deupe.	Verhältniß der Geschwindigkeit ohne und mit einer Leitung.
0,02 Metr.	100 : 96
0,03 »	100 : 83
0,04 »	100 : 72
0,05 »	100 : 51

Wendet man daher eine Leitung von 387 Metr. Länge, aber von einem Durchmesser an, der fünfmal größer, als der der Deupe ist, so findet bei der beobachteten Luftmenge nur ein Verlust von 4 Procent statt; er betrug aber 49 Procent, oder die Hälfte, als der Durchmesser der Deupe nur doppelt so groß als der der Leitung war.

414. Demnach folgern wir aus dem Vorhergehenden, daß die auf den Kaminen angebrachten Blendungen die Ge-

---

Kamine von 6,80 Metr. Höhe und von 0,2115 Metr. Durchmesser.

	Durchmesser.	Oberfläche.	Geschwindigkeit in dem Kanal.
Die Oeffnung frei	= 0,2115,	= 0,036,	2,30
Blendung von (6 Zoll)	= 0,165,	= 0,021,	2,00
» » (4 Zoll)	= 0,11,	= 0,0095,	1,57
» » (2 Zoll)	= 0,055,	= 0,0023,	0,44
» » (1 Zoll)	= 0,027,	= 0,0006,	0,11

Kamine von 3,67 Metr. Höhe und von 0,175 Metr. Durchmesser.

Die Oeffnung frei	= 0,175,	= 0,024,	2,29
Blendung von (4 Zoll)	= 0,11,	= 0,0095,	2,20
» » (2 Zoll)	= 0,055,	= 0,0023,	0,56
» » (1 Zoll)	= 0,0270,	= 0,000,6	0,14

schwindigkeit nicht proportional der Größe ihrer Oeffnungen vermindern; daß folglich die Geschwindigkeit der Strömung in der Blendung in dem Maaße zunehme, als die Oeffnung kleiner wird, und daß dagegen, wenn die Oeffnung und die übrigen Umstände dieselben bleiben, die Geschwindigkeit in der Blendung zunehme, je größer der Kanal wird; und daß, wenn der Kanal groß genug wäre, um die Geschwindigkeit der ihn durchströmenden Luft unberücksichtigt zu lassen, die Geschwindigkeit an der Oeffnung der theoretischen Geschwindigkeit gleich sein würde (390). Wir werden weiter unten nützliche Anwendungen dieses Grundsatzes kennen lernen.

Neunzehntes Kapitel.

Bewegung der warmen Luft in einem unten zusammengezogenen Kanal.

415. Wir wollen jetzt annehmen, daß die untere Oeffnung verschlossen sei. Hat alsdann die warme Luft keine Bewegung angenommen, so bleibt sie in Ruhe, als wenn die obere Oeffnung verschlossen sei; denn die warme Luft wird nur durch die über ihr befindliche kalte Luftsäule gedrückt, und dieser Druck steht mit der Elasticität der warmen Luft im Gleichgewicht. Jedoch ist dieses Gleichgewicht nur augenblicklich; die geringste Bewegung bestimmt das Aufsteigen einer gewissen Quantität warmer und den Fall eines gleichen Volums kalter Luft; und sobald diese Bewegung einmal begonnen hat, wird sie nur durch das gänzliche Ausströmen der warmen Luft aufgehalten; denn sobald eine kleine Säule kalter Luft eingetreten ist, so sind alle Bedingungen der Bewegung vorhanden. Wenn der Kanal oben und unten verschlossen ist, so ist es mit dem zweifachen Zustande des Gleichgewichts der warmen Luft, wie mit dem Gleichgewicht einer Flüssigkeit in einem Gefäße, dessen Oeffnung oben oder unten befindlich ist. Im erstern Falle ist das Gleichgewicht stehend,

d. h. wenn die Flüssigkeit in ihrer Lage etwas verändert ist, so strebt sie, wieder in ihre ursprüngliche zu kommen, während in dem zweiten Falle die Oeffnung des Gefäßes eng genug sei, damit kein aufsteigender und kein herunterfallender Luftstrom ausdringe, oder daß die Oeffnung durch ein Blättchen Papier verschlossen werde, welches, indem es die Flüssigkeit hält, nicht zuläßt, daß sie sich theilt, um den beiden Strömen, von denen die Rede war, einen Ausweg zu verschaffen.

416. Wenn aber der untere Theil des Kanals, statt gänzlich verschlossen zu sein, mit einer weit kleinern Oeffnung als der Querschnitt des Kanals versehen ist, so wird die ausströmende Luftmenge weit größer sein, als wenn der Durchmesser des Kanals und der Oeffnung gleich wären. Dies ist, wie wir später sehen werden, eine sehr wichtige Thatsache, über die alle nöthigen Aufklärungen gegeben werden müssen.

417. Zuvörderst ist es augenscheinlich, daß die ausgeströmte Luftmenge weit größer sein müßte, als wenn der Kanal nur die Weite der untern Oeffnung zum Durchmesser haben müßte, selbst wenn man annimmt, daß die Geschwindigkeit der Luft in der Blendung in dem ersten Augenblick dieselbe, als die, vor Hinzufügung derselben, in dem ganzen Kanal existirende sei. Wirklich ist der Widerstand, den die Luft in dem Kanal findet, wie wir schon gesehen haben, proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit, und steht im umgekehrten Verhältnisse zu dem Durchmesser. Oder, ist der Kamin weiter, als die Oeffnung der Blende, so ist die Geschwindigkeit der Luft weit kleiner, und folglich sind alle Umstände vereinigt, um die Reibung geringer als in einem Kamin von gleichem Durchmesser mit dem der Blendung zu machen. Demnach muß dadurch allein in der Blende die Geschwindigkeit zunehmen.

418. Allein die Geschwindigkeit in der Oeffnung der Blendung nimmt in einem weit stärkern Verhältnisse zu, je nachdem deren Durchmesser geringer wird. Demnach ist die Geschwindigkeit weit größer, als die, welche in einem Kamine stattfinden würde, dessen innerer Durchmesser gleich dem der

Oeffnung sein, selbst in dem Falle, in welchem der Kanal keinen Widerstand leisten würde.

419. Die hier dargelegte Thatsache ist eine nothwendige Folge der Theorie. Und wirklich, betrachtet man die physischen Ursachen, welche die Bewegung irgend einer Flüssigkeit in einem Kanale bedingen, so sieht man, daß die Geschwindigkeit an der Ausflußöffnung lediglich von dem Drucke abhängt, und daß sie dagegen von dem Durchmesser der Röhre ganz und gar unabhängig ist. Sie wird demnach auch noch dieselbe bleiben, wenn man annähme, daß der Kanal nicht vollkommen cylindrisch sei; allein alsdann müßte nothwendig eine gleiche Quantität von Flüssigkeit in derselben Zeit durch alle Durchschnitte gehen, und die Geschwindigkeiten müßten in allen in umgekehrtem Verhältnisse ihrer Ausdehnung stehen.

Jedoch ist hierbei keine Rücksicht auf die Reibung genommen, welche nothwendig die fraglichen Verhältnisse ändern müssen; allein, da die Reibung nicht eben so, wie die Geschwindigkeit zunimmt, so müssen nothwendig in den kleinsten Durchschnitten größere Geschwindigkeiten stattfinden, als die, welche in den Durchschnitten von größerm Durchmesser sind.

420. Diese Thatsache wird von einer Menge von Beobachtungen unterstützt. Es ist eine bekannte Sache, daß, wenn man die Thür eines Ofens schließt, und die Luft nur durch eine in derselben befindliche Oeffnung eintritt, die Luft mit weit größerer Geschwindigkeit, als bei offener Thür, einströmt. Man gab sich von dieser Thatsache Rechenschaft, indem man sagte, daß, wenn die Thür verschlossen sei, die ganze Luft durch das Brennmaterial ginge, daß ein weniger großer Theil der Verbrennung entginge, und daß die Verbrennung beschleunigt, die Temperatur erhöhet und der Zug vermehrt werde. Diese Erscheinungen haben nun wirklich Einfluß auf die Vermehrung der Geschwindigkeit; allein sie kann sich erst nach einigen Minuten zeigen, und doch bemerkt man eine Vermehrung der Geschwindigkeit in dem Augenblicke, daß die Thür verschlossen wird. Und legt man das Feuer auch so auf den Boden des Ofens oder Heerdes, daß die durch die Oeffnung

der Thür eintretende Luft das Brennmaterial nicht zu durchstreichen braucht, so findet dennoch dieselbe Beschleunigung der Geschwindigkeit statt. Eine Thatsache aber, die alle diejenigen, welche oft Hütten besuchen, kennen müssen, ist die, daß dieselbe Geschwindigkeit sich auch dann noch zeigt, wenn man die Oeffnung des Aschenfalls verengt; oder, in diesem Falle wird die Luft stets auf gleiche Weise auf das Brennmaterial geleitet. Vor einigen Jahren war ich Zeuge von einer Thatsache, die mich durch die ungeheure Schnelligkeit, welche die Luft erhält, wenn sie durch enge Oeffnungen in den Aschenfall dringt, in Erstaunen setzte. Ich hatte einen Ofen erbauen lassen, dessen Aschenfall unter der Sohle lag und sich vor dem Ofen horizontal öffnete. Diese Oeffnung sollte mit einem beweglichen Gitter bedeckt werden; allein die Arbeiter bedeckten sie einstweilen mit Brettern, zwischen denen nur ohngefähr 1 Quadratdecimeter weite Oeffnungen blieben. Nun glaubte ich, daß diese Oeffnung nicht hinreichend sein würde, um die Verbrennung gehörig zu unterhalten, allein zu meinem großen Erstaunen war sie bedeutend genug, um in der Stunde mehr als 70 Kilogr. Holzkohlen zu verbrennen. Der Rauch zog durch ein Kamin ab, das zu mehrern Oefen gemeinschaftlich gehörte, und welches eine große Weite und eine bedeutende Höhe hatte. Die Geschwindigkeit an der Oeffnung des Aschenfalles war sehr groß, und man konnte ihre Abnahme, sobald die Oeffnung erweitert wurde, mit der Hand fühlen.

Demnach können wir schon als erwiesen ansehen, daß der Zug eines unten verengten Kamins nicht im Verhältniß der Ausdehnung der Oeffnung abnimmt, weil die Geschwindigkeit in dieser zunimmt.

421. In welchem Verhältnisse und nach welchem Gesetze vermindert sich der Zug durch die Verengung am untern Theile der Kamine? Diese Frage kann nur durch Erfahrungen aufgelöst werden, und da sie bei fast allen Anwendungen der Wärme von großer Wichtigkeit ist, so habe ich, um sie aufzulösen, eine große Menge von Beobachtungen gemacht.

Ich werde zuvörderst das angewendete Verfahren, und dann die erhaltenen Resultate mittheilen.

Die Versuche sind mit 17 thönernen, blechernen und gußeisernen, in der Höhe, im Durchmesser und in der Temperatur verschiedenen, Kaminen gemacht worden. Die Blendungen bestanden in Blechtafeln mit Löchern von 6, 4, 2 und 1 Zoll Weite. Sie wurden entweder an der Oeffnung des Aschenfalles, oder am untern Ende des Kamines angebracht. Im erstern Falle waren die Feuerthür, so wie die Ränder der Tafel, genau mit Lehm verstrichen; im zweiten Falle wurden die Tafeln in einen Falz von Ziegelsteinen A B C D (Fig. 63) gelegt, der vorn offen und ohngefähr 1 Decimetr. hoch war. Die Platten wurden gehörig lutirt, damit die warme Luft durch keine andere, als durch die Oeffnung der Platte ging, worauf der vordere Theil des Falzes oder Kastens mit Ziegelsteinen verschlossen wurde. Gewöhnliche Schieber konnten nicht angewendet werden, weil diese nie genau in den Rähmen schließen, und ein Theil der Wärme an den Rändern des Schiebers entweichen würde, woraus grobe Irrthümer entstehen könnten, besonders wenn die Platte mit einer, in Beziehung zum Durchmesser des Kamins, kleinen Oeffnung versehen wäre.

Der Rauch, welcher als Anzeiger diente, wurde in den Aschenfall unter dem Rost eingeführt, und die Dauer des Ausströmens wurde durch das oben, als wir von der sich auf die Bestimmung der Geschwindigkeit der warmen Luftströme in den freien Kaminen beziehenden Experimenten redeten, angegebene Mittel gemessen.

Die Versuche mit einem Kamine sind in wenig verschiedenen Temperaturen gemacht worden; allein da, ohnerachtet der Raschheit der Beobachtungen, die Blendungen, indem sie den Zug verminderten, auch zu gleicher Zeit die Lebhaftigkeit der Verbrennung verringerten, und folglich auch die Temperatur der warmen Luft. Nach jeder Beobachtung mit einer Blendung machte man eine mit einem freien Kamin, und man hat von der Geschwindigkeit in einem freien Kamine

die angenommen, die der mittlern Temperatur vor- und nachher correspondirte. Die eingeschobenen Beobachtungen haben stets sehr nahe Zahlen gegeben, da die lebhaftere Verbrennung nach jeder Beobachtung mit einer Blendung hergestellt worden war. Zuweilen haben jedoch die Temperaturen um ein Zehntel des ganzen Uebermaaßes der warmen, über die der umgebenden Luft, differirt.

Einen Theil von den gemachten Beobachtungen habe ich in der folgenden Tabelle aufgezeichnet. Alle übrigen stimmen mit denselben überein, jedoch konnte ich sie nicht alle aufnehmen, um diese nicht über die Gebühr lang zu machen, sondern habe nur eine Reihe von den mit einem Kamin gemachten Beobachtungen mitgetheilt.

Die erste Zahlenreihe enthält die mittlern beobachteten Geschwindigkeiten, die, welche aus der Dauer der nach Secunden geschätzten Ausströmung, getheilt durch die Höhe des Kamins von dem Rost an, erfolgen. Die zweite Reihe enthält die nach der Hypothese, daß die Geschwindigkeit in der Blendung sich nicht in dem Maaße, daß die Oeffnung kleiner wird, verändern, berechneten Geschwindigkeiten. Diese Geschwindigkeit ist es, die bis jetzt in den Schriften und Vorträgen aufgeführt worden.

Bezeichnung der Kamine und Blendungen.		Wirkliche Geschwindigkeiten an der obern Oeffnung.	Geschwindigkeit an der obern Oeffnung, unter der Voraussetzung berechnet, daß die Geschwindigkeit an der untern Oeffnung nicht zugenommen habe.
Kamine von Ziegelsteinen, von 0,2115 Metr. Durchmesser und von 6,80 Metr. Höhe.		Metr.	
Freie Oeffnung.....	Oberfl. =0,036	3,39	»
Die Blendungen am untern Theile d. Kam.	Durchm.(6 Z.)=0,165. » =0,0210	2,83	1,88
	» (4 Z.)=0,110. » =0,0094	1,70	0,88
	» (2 Z.)=0,055. » =0,0023	0,80	0,22
	» (1 Z.)=0,027. » =0,0006	0,48	0,055
Die Blendungen am Aschenfall.	Durchm. (6 Zoll) =0,165.....	2,42	1,88
	» (4 ») =0,110.....	1,61	0,88
	» (2 ») =0,055.....	0,85	0,22
	» (1 ») =0,027.....	0,48	0,0555
Kamine von Ziegelsteinen, von 0,2115 Metr. Durchmesser und von 9,95 Metr. Höhe.			
Freie Oeffnung.....	Oberfl. =0,036	4,14	»
Die Blendungen am untern Theile des Kamins.	Durchm. (6 Zoll) =0,165.....	3,55	2,30
	» (4 ») =0,110.....	2,76	1,08
	» (2 ») =0,055.....	1,65	0,26
	» (1 ») =0,027.....	0,95	0,069
Die Blendungen am Aschenfall.	» (6 ») =0,165.....	3,55	2,30
	» (4 ») =0,110.....	2,48	1,08
	» (2 ») =0,055.....	1,45	0,26
	» (1 ») =0,027.....	0,82	0,069
Kamine von Ziegelsteinen, von 0,08 Metr. Durchmesser und von 13,38 Metr. Höhe.			
Freie Oeffnung.....	Oberfl. =0,005	2,38	»
Die Blendungen am untern Theile des Kamins.	Durchm. (2 Zoll) =0,055.....	2,23	1,09
	» (1 ») =0,027.....	1,35	0,28
Die Blendungen am Aschenfall.	» (2 ») =0,055.....	1,96	1,09
	» (1 ») =0,027.....	1,09	0,28
Kamine von Ziegelsteinen, von 0,175 Metr. Durchmesser und von 6,80 Metr. Höhe.			
Freie Oeffnung, Durchm. 0,175,	Oberfl. 0,024	2,83	»
Die Blendungen am untern Theile des Kamins.	Durchm. (4 Zoll) =0,110.....	2,12	1,10
	» (2 ») =0,055.....	0,94	0,27
	» (1 ») =0,027.....	0,10	0,07

Bezeichnung der Kamine und Blendungen.		Wirkliche Geschwindigkeiten an der obern Oeffnung.	Geschwindigkeit an der obern Oeffnung, unter der Voraussetzung berechnet, daß die Geschwindigkeit an der untern Oeffnung nicht zugenommen habe.
Kamine von Ziegelsteinen, von 0,175 Metr. Durchmesser und von 9,40 Metr. Höhe.		Metr.	
Freie Oeffnung, Durchm. 0,175, Oberfl. 0,024		3,11	»
Die Blendungen am untern Theile des Kamins.	Durchm. (4 Zoll) = 0,110.....	2,37	1,21
	» (2 ») = 0,055.....	0,83	0,29
	» (1 ») = 0,0275.....	0,35	0,07
Die Blendungen am Aschenfall.	» (4 ») = 0,110.....	2,37	1,21
	» (2 ») = 0,55	0,77	0,29
	» (1 ») = 0,275.....	0,35	0,07
Kamine von Ziegelsteinen, von 0,12 Metr. Durchmesser und von 3,93 Metr. Höhe.			
Freie Oeffnung, Durchm. 0,12, Oberfl. 0,0113		1,40	»
Die Blendungen am untern Theile des Kamins.	Durchm. (4 Zoll) = 0,110.....	1,22	1,16
	» (2 ») = 0,055.....	0,70	0,28
	» (1 ») = 0,0275.....	0,40	0,07
Die Blendungen am Aschenfall.	» (4 ») = 0,110.....	1,22	1,16
	» (2 ») = 0,055.....	0,70	0,28
	» (1 ») = 0,0275.....	0,39	0,07
Kamine von Ziegelsteinen, von 0,12 Metr. Durchmesser und von 7,08 Metr. Höhe.			
Freie Oeffnung, Durchm. 0,12, Oberfl. 0,0113		1,77	»
Die Blendungen am untern Theile des Kamins.	Durchm. (4 Zoll) = 0,110.....	1,60	1,47
	» (2 ») = 0,055.....	0,88	0,36
	» (1 ») = 0,0275.....	0,51	0,09
Die Blendungen am Aschenfall.	» (4 ») = 0 110.....	1,60	1,47
	» (2 ») = 0,055.....	0,93	0,36
	» (1 ») = 0 0275.....	0,49	0,09
Kamine von Ziegelsteinen, von 0,12 Metr. Durchmesser und von 10,23 Metr. Höhe.			
Freie Oeffnung, Durchm. 0,12, Oberfl. 0,0113		1,82	»
Die Blendungen am untern Theile des Kamins.	Durchm. (4 Zoll) = 0,110.....	1,60	1,51
	» (2 ») = 0,055.....	1,02	0,37
	» (1 ») = 0,0275.....	0,58	0,09
Die Blendungen am Aschenfall.	» (4 ») = 0,110.....	1,50	1,51
	» (2 ») = 0,055.....	0,98	0,37
	» (1 ») = 0,0275.....	0,51	0,09

Bezeichnung der Kamine und Blendungen.		Wirkliche Geschwindigkeiten an der obern Oeffnung.	Geschwindigkeit an der obern Oeffnung, unter der Voraussetzung berechnet, daß die Geschwindigkeit an der untern Oeffnung nicht zugenommen habe.
Kamine von Ziegelsteinen, von 0,12 Metr. Durchmesser und von 13,08 Metr. Höhe.		Metr.	
Freie Oeffnung, Durchm. 0,12, Oberfl. 0,0113		1,92	»
Die Blendungen am untern Theile des Kamins.	Durchm. (4 Zoll) =0,110.....	1,72	1,59
	» (2 ») =0,055.....	1,25	0,38
	» (1 ») =0,0275.....	0,58	0,09
Die Blendungen am Aschenfall.	» (4 ») =0,110.....	1,63	1,59
	» (2 ») =0,055.....	1,25	0,38
	» (1 ») =0,0275.....	0,56	0,09
Kamine von Ziegelsteinen, von 0,08 Metr. Durchmesser und von 3,93 Metr. Höhe.			
Freie Oeffnung, Durchm. 0,08, Oberfl. 0,0052		1,63	»
Die Blendungen am untern Theile des Kamins.	Durchm. (2 Zoll) =0,055.....	1,09	0,71
	» (1 ») =0,0275.....	0,75	0,18
Die Blendungen am Aschenfall.	» (2 ») =0,055.....	0,96	0,71
	» (1 ») =0,0275.....	0,70	0,18
Kamine von Ziegelsteinen, von 0,08 Metr. Durchmesser und von 7,08 Metr. Höhe.			
Freie Oeffnung, Durchm. 0,08, Oberfl. 0,0052		1,96	»
Die Blendungen am Aschenfall.	Durchm. (2 Zoll) =0,055.....	1,47	0,86
	» (1 ») =0,0275.....	0,88	0,23
Kamine von Ziegelsteinen, von 0,08 Metr. Durchmesser und von 10,23 Metr. Höhe.			
Freie Oeffnung, Durchm. 0,08, Oberfl. 0,0052		2,32	»
Die Blendungen am untern Theile des Kamins.	Durchm. (2 Zoll) =0,055.....	1,70	1,02
	» (1 ») =0,0275.....	0,96	0,26
Kamine von Gußeisen, von 0,20 Metr. Durchmesser und von 17,05 Metr. Höhe.			
Freie Oeffnung, Durchm. 0,20, Oberfl. 0,0314		4,73	»
Die Blendungen am untern Theile des Kamins.	Durchm. (4 Zoll) =0,110.....	2,84	1,41
	» (2 ») =0,055.....	1,70	0,35
	» (1 ») =0,0275.....	0,81	0,09

422. Untersucht man die in den Tabellen befindlichen Zahlen, so wird man sehen, daß die mittlern Geschwindigkeiten weit größer, als diejenigen sind, welche sich aus der Hypothese, daß die Geschwindigkeit in der Oeffnung der Blendung constant bleibe, und daß die Differenzen in dem Maaße zunehmen, daß die Oeffnungen der Blendung kleiner werden, folgern lassen. Demnach bestätigt also die Erfahrung vollkommen, was die Theorie und einige einzelne Beobachtungen gezeigt hatten.

423. Die Abweichungen, welche die Resultate der Experimente darbieten, rühren größtentheils von der Schwierigkeit, die Geschwindigkeiten, wenn dieselben durch die Blendungen sehr vermindert sind, gehörig zu beobachten, weil alsdann die geringste Bewegung der Luft, selbst wenn sie kaum bemerkbar ist, einen bedeutenden Einfluß haben kann. Eine andere Ursache, welche zur Entstehung anscheinender Anomalien hat beitragen können, ist die Differenz der Temperatur, die, meiner Sorgfalt ohnerachtet, sich bei den correspondirenden Beobachtungen eines und desselben Kamins gezeigt haben. Diese Differenzen haben freilich nie mehr, als 10 bis 15° betragen, allein auf die geringen Geschwindigkeiten haben sie einen bemerkbaren Einfluß äußern können.

424. Jedoch bemerkt man, daß größtentheils die Geschwindigkeiten merklich nach den Durchmessern der Oeffnungen abnehmen. Demnach können wir als eine hinlängliche Näherung für den Gebrauch annehmen, daß in den unten mit einer Blendung versehenen Kaminen die Geschwindigkeit des Ausströmens in der obern Oeffnung, wie die Durchmesser der untern Oeffnung, und daß folglich die Geschwindigkeit der Luft in der untern Blendung im umgekehrten Verhältnisse ihres Durchmessers abnimmt.

Dieses Gesetz ist, wie ich nochmals wiederhole, nur eine Annäherung, jedoch für die uns hier beschäftigenden Untersuchungen hinreichend. Es hat den Vortheil, daß es berechnete Geschwindigkeiten giebt, die den wirklichen gleich, oder kleiner als dieselben sind. Indem wir diese nun anwenden, sind wir

ſicher, uns der Wahrheit ſehr zu nähern, und nie zu geringe Geſchwindigkeiten zu berechnen, welches großen Vortheil gewährt; denn wenn ein Apparat conſtruirt wird, ſo iſt es immer leicht, die Geſchwindigkeiten des Zuges zu vermindern, wogegen eine Vermehrung deſſelben aber ſchwer hält.

425. Es geht hieraus hervor, daß man die Geſchwindigkeit der Luft, die aus einer gegebenen Oeffnung ausſtrömt, nach Belieben vergrößern kann, ohne die Temperatur und die Höhe des Kamins zu verändern, indem man bloß den Kanal weiter macht.

Zwanzigſtes Kapitel.

Einfluß der Krümmung der Kanäle.

426. Wenn der Kanal, ſtatt eine gerade Richtung zu haben, Krümmungen hätte, ſo würde die Geſchwindigkeit des Ausſtrömens dadurch keinen Einfluß erleiden, weil, da der Widerſtand der innern Wände der Röhre ſenkrecht auf ihrer Richtung ſteht, derſelbe auf die mit derſelben parallelen Bewegungen nicht einwirken kann. Die mittlere Geſchwindigkeit wird in dieſem Falle um die Länge des Kanals vermindert (409 ꝛc.).

Ich habe jedoch, um die Richtigkeit dieſer Thatſache zu unterſuchen, einige Verſuche gemacht. Zu dem Ende wendete ich blecherne Röhren an, die zuerſt ſenkrecht ſtanden, und dann die in Fig. 64 dargeſtellte Lage erhielten, und fand ſtets, daß bei gleichen Höhen die Geſchwindigkeiten kleiner, als die der geraden Kamine von derſelben Höhe waren. Die Differenz kam aber lediglich von der größern Länge der Röhren, denn die beobachtete Geſchwindigkeit war merklich der gleich, die man durch einen ähnlichen Calcul fand, wie der oben (410) ausgeführte war.

Einundzwanzigstes Kapitel.

Einfluß der in einem Kanale, durch den ein Strom warmer Luft geht, befindlichen Seitenöffnung.

427. Wir nehmen an, daß der Kanal geradlinicht und cylindrisch sei, und untersuchen nach einander die sechs folgenden Fälle: 1) in welchem der Kanal überall gleich weit; 2) in welchem er oben, und 3) in welchem er unten mit einer Blendung versehen; 4) in welchem er an beiden, 5) in welchem er nur an einem Ende verengt ist; 6) in welchem er mehrere Verengungen erleidet.

Erster Fall.

Einfluß der in einem cylindrischen, an beiden Enden ganz offenen, Kanal befindlichen Oeffnungen.

428. Nähme man an, daß der Kanal der Bewegung keinen Widerstand entgegensetze, so würde das Gas gegen die innere Wand des Kamins keinen Druck ausüben, welcher Bewegung hervorbringt, sondern es würde sich bloß ein, der Atmosphäre gleicher, Druck zeigen. Machte man daher an irgend einer Stelle eine Oeffnung in den Kanal, so würde dieselbe weder warme Luft herausgehen, noch äußere Luft eindringen lassen. Dieser Mangel des Seitendrucks bei den in Bewegung begriffenen elastischen Flüssigkeiten, die die ganze Geschwindigkeit, die von der auf sie einwirkenden Kraft hervorgebracht wird, erlangt hat, zeigt sich auch bei den eigentlich flüssigen Körpern. Dies ist eine Thatsache, die von einer Menge von Versuchen bestätigt wird, und die man auch auf directem Wege darthun kann. Die Gase und die Flüssigkeiten können freilich den Druck nach allen Seiten hin mittheilen, allein eigentlich geschieht es nur durch Rückwirkungen, wenn sie in der Richtung der Bewegung, welche der Druck ihnen zu geben strebt, Hindernisse finden. Wegen ihrer Trägheit folgen sie der Richtung des ihnen gegebenen Stoßes, und

theilen ihn nur dann seitwärts mit, sobald sich ihrer Bewegung Hindernisse entgegensetzen.

Man ersieht aus der angenommenen Analyse sehr deutlich, daß die warme Luft durch eine Seitenöffnung nicht austreten, allein es ist nicht eben so klar, daß keine äußere Luft durch die Oeffnung eindringen könne. Um alle Zweifel, welche in dieser Hinsicht obwalten könnten, zu heben, bemerken wir, daß der ungünstigste Fall offenbar dann stattfinden würde, wenn die Seitenöffnung am untern Theile des Kanals befindlich wäre. Oder, welches ist der Druck, den in dieser Lage die äußere Luft einzuführen strebt? Es ist: 1) die Elasticität der äußern Luft; 2) die Differenz des Gewichts der äußern und der warmen Luft. Der erstere Druck aber wird durch die Elasticität der warmen Luft gehoben und der zweite ist nichts, indem nach der Hypothese die Geschwindigkeit im Maximum vorhanden, und folglich die warme Luft so zusammengepreßt wird, daß ihr Gewicht gleich dem der äußern Luft ist. Da nun übrigens die Massentheilchen, welche vor der Seitenöffnung vorübergehen, eine Geschwindigkeit haben, die der gleich ist, welche ihnen der Druck der äußern Luftsäule, die sich vor der Oeffnung zeigt, zu geben strebt; so entziehen sie sich ihrer Wirkung, können kein Uebergewicht der Geschwindigkeit erhalten, und überlassen daher der Luft, welche einzudringen strebt, keinen Platz.

Nach dem Vorhergehenden wird vorausgesetzt, daß die Geschwindigkeit der Luft das Maximum derjenigen sei, die dem sie erzeugenden Druck correspondirt, allein dies ist nicht der Fall, wenigstens in den Kanälen, die eine gewisse Länge haben. Alsdann findet stets ein gewisser Seitendruck statt, und die warme Luft strebt durch alle Oeffnungen, die auf der Länge der Röhre vorhanden sein könnten, mit einer, dem Seitendruck proportionalen, und daher von unten nach oben zu abnehmenden Geschwindigkeit zu entweichen.

Zweiter Fall.

Einfluß der Seitenöffnungen in einem cylindrischen, oben verengten Kanal.

429. Wenn die Röhre oben mit einer Blendung, oder mit einem, oben engern, Aufsatze versehen ist, wie Figur 65 zeigt, so ist, wie wir schon sahen, die Geschwindigkeit in der Röhre weit geringer. Alsdann zeigt sich ein großer Theil des Drucks auf der ganzen Ausdehnung des Kanals, und es würde die warme Luft, aus allen an demselben befindlichen Oeffnungen, mit einer um so größern Geschwindigkeit entfliehen, als die obere Oeffnung einen geringern Durchmesser hat. Nimmt man nun an, daß der Kamin am obern Ende gänzlich geschlossen sei, so würde der Druck gegen die Wände dem die Bewegung hervorbringenden Drucke gleich sein, und an welchen Punkten man nun auch den Kanal durchbohren möchte, so würde für gleiche Oeffnungen die Geschwindigkeit des Ausströmens gleich sein. Und wären diese Oeffnungen in Beziehung auf den Durchmesser des Kanals sehr klein, so daß die Geschwindigkeit in diesem letztern sehr gering wäre, so würde der wirkliche Verbrauch von dem theoretischen wenig verschieden sein (390).

Vermehrt man die Oeffnungen am obern Theile, so wird die Geschwindigkeit offenbar bei jeder derselben abnehmen.

Dritter Fall.

Einfluß der Seitenöffnungen in einem cylinderförmigen, unten verengten Kanal.

430. Nimmt man an, daß die untere Oeffnung einer Röhre kleiner, als der Querschnitt sei, wie in Fig. 66, so sahen wir schon oben, daß die Geschwindigkeit in derselben weit geringer, als die höchste sein müsse, obgleich die in der Oeffnung selbst sehr zugenommen habe. In diesem Falle ist es leicht darzuthun, daß, wenn man den Kanal an irgend einer Stelle durchbohrt, die äußere Luft eindringen kann.

Da die warme Luftsäule nicht das Maximum der Geschwindigkeit besitzt, so wird sie noch weit weniger die ihrer

Höhe und der Temperatur der warmen Luft correspondirende Dichtigkeit besitzen; macht man daher eine Seitenöffnung, so wird der Druck der äußern kalten Luftsäule weit größer, als das Gewicht der innern warmen Luftsäule sein, so daß die äußere Luft mit einer um so größern Kraft eindringen wird, je kleiner die untere Oeffnung des Kamins ist; d. h. daß die Geschwindigkeit der warmen Luft im Verhältnisse zu der Geschwindigkeit im Maximum, und je nachdem die Seitenöffnung niedrig angebracht worden, kleiner ist.

Diese letztere Vorrichtung wird sehr häufig, besonders bei den Lüftungsapparaten, angewendet. Da es oft nöthig ist, den Verbrauch des Kamins an warmer und kalter Luft genau zu berechnen, so soll die anzuwendende Methode gehörig dargestellt worden, indem wir einen besondern Fall als Beispiel annehmen.

431. Man nehme einen Kanal von 20 Metr. Höhe, und von 0,40 Metr. Weite an, an dem obern Ende offen, und an dem untern Ende mit zwei Oeffnungen, von denen die eine 0,10 Metr. weit ist, und durch welche warme Luft von 100° eintritt, und die andere 0,30 Metr., welche kalte Luft von 20° zuläßt. Beide Ströme geben ein Gemenge von von warmer und kalter Luft von mittlerer Temperatur, die man nothwendig kennen muß. Demnach müssen wir zuvörderst bemerken, daß die Weite der beiden Oeffnungen gleich der des Kanals sei, und daher die Geschwindigkeit in dem Kanal dieselbe sein müsse, als wenn er an dem untern Ende ganz offen wäre und Luft von mittlerer Temperatur enthielte. Es geht hieraus offenbar hervor, daß beide Ströme gleiche Geschwindigkeit haben: folglich sind die in jedem Augenblicke zuströmenden Mengen von kalter und warmer Luft proportional den Oeffnungen, aus denen sie kommen, d. h. in dem Verhältnisse von 0,30 zu 0,10. Das Gemenge in dem Kamine ist demnach aus 3 Theilen Luft von 20° und aus einem Theile von 100° gebildet, weshalb die mittlere Temperatur $= \frac{3 \times 20 + 100}{4} = 40°$ ist. Kennt man die Tempera-

tur der Luft in einem Kamine, so findet man, nach den oben (406 und 407) auseinander gesetzten Vorschriften, die Geschwindigkeit, welche gleich der der ausströmenden warmen und kalten Luft ist, und indem man diese Geschwindigkeit mit der Weite der Oeffnungen multiplicirt, erhält man die Quantität von warmer und kalter Luft in einer Minute.

In dem vorliegenden Falle beträgt die Geschwindigkeit in der Secunde 3,71 Metr.

Der Verbrauch der kalten Luft 1,11 Kubikmetr.

Der der warmen Luft 0,37 Kubikmetr.

432. Wenn die Summe der Oeffnungen, welche warme und kalte Luft liefern, nicht gleich der Weite des Kamins ist, so werden die Geschwindigkeiten der Ströme noch merklich dieselben sein, und man wird auch leicht die mittlere Temperatur finden. Hat man aber die Geschwindigkeit des Gemenges in dem Kamin berechnet, so muß man die durch das Verhältniß des Durchmessers des Kamins zu dem eines Kreises, dessen Oberfläche die Summe der Oberflächen der beiden Oeffnungen gleich ist, erlangte Geschwindigkeit theilen (424).

433. Sind endlich die Oeffnungen in verschiedenen Höhen befindlich, und die der kalten Luft ist die niedrigste, so ist es klar, daß dasselbe stattfinden wird, als wenn beide Oeffnungen in gleicher Höhe liegen, indem die, beide Oeffnungen trennende, kalte Luftsäule auf die Bewegung keinen Einfluß haben würde. Ist aber die Oeffnung der warmen Luft am untern Theile befindlich, so wird das Problem etwas verwickelter, jedoch immer noch leicht aufzulösen sein, wie aus der beigefügten Anmerkung hervorgeht [1]). Jedoch kann man in

---

[1]) Es sei h die Höhe des Kanals über der Oeffnung der warmen Luft, h′ die Höhe des Kanals über dem Centrum der Oeffnung der kalten Luft, A der Durchschnitt des Kanals, D sein Durchmesser, b und b′ die Flächeninhalte der Oeffnungen der warmen und der kalten Luft, und d und d′ ihr Durchmesser.

Man bezeichne mit T die mittlere Temperatur in dem Kanal, mit v und v′ die Geschwindigkeiten der warmen und der kalten Luft, und

diesem Falle die Entfernung der beiden Oeffnungen von einander fast immer unberücksichtigt lassen, und sie beide in der Lage der höchsten annehmen.

---

durch V die Geschwindigkeit des Gemenges. Die Aufgabe besteht in der Bestimmung der Werthe von T, v, v′ und V.

Es ist zuvörderst $T = \frac{t\ b\ v + t'\ b'\ v'}{b\ v + b'\ v'}$ (A)

Um den die Geschwindigkeit v erzeugenden Druck zu erhalten, muß bemerkt werden, daß die die Geschwindigkeit an der untern Oeffnung bestimmende warme Luftsäule aus einer Säule $h - h'$ von t Temperatur, und aus einer Säule h′ von T Temperatur besteht. Demnach wird die mittlere Temperatur folglich $\frac{(h - h')\ t + h'\ T}{h}$ sein.

Um den Druck, welcher die Geschwindigkeit v′ hervorbringt, zu erhalten, muß bemerkt werden, daß die warme Luftsäule über der obern Oeffnung eine Höhe h′ und eine Temperatur T habe. Läßt man nun die Reibung der Luft in dem die beiden Oeffnungen trennenden Theile des Kanals unberücksichtigt, so werden die Quadrate der Geschwindigkeit offenbar in dem Verhältnisse des aus diesen Höhen und Temperaturen hervorgehenden Druckes stehn und es wird folglich sein

$$\frac{v^2}{v^{12}} = \frac{\left\{\frac{(h - h')\ t + h'\ T}{h}\right\}\ m\ h}{T\ m\ h'} = \left\{\frac{(h - h')\ t + h'\ T}{T\ h'}\right\} \text{ (B).}$$

Substituirt man nun diesen Werth in der Gleichung (A), so erfolgt daraus der Werth von T; alsdann findet man durch die gegebenen Formeln (407) leicht die Geschwindigkeit von V, die stattfinden würde, wäre der Kanal an beiden Enden vollkommen offen. Um alsdann die Geschwindigkeiten v und v′ zu erhalten, hat man die Gleichung:

$$V\ a = b\ v + b'\ v' \text{ (C)};$$

und da man vorhin $\frac{v}{v'}$ für T erhielt, und dieses bekannt ist, so hat man alle nöthigen Glieder, um v und v′ zu finden. Allein man erhält auf diese Weise nur die Geschwindigkeiten, welche stattfinden, wenn die Summen der beiden Oeffnungen der des Kanals gleich sind; ist dem nicht so, so wird V weit größer sein, und man erhält seinen neuen Werth nur annähernd, wenn man den erstern durch das Verhältniß des Durchmessers des Kreises multiplicirt, indem dann die Summe der Oberfläche der Oeffnungen gleich der des Durchschnittes des Kanals ist, und mittelst der Gleichungen (B) und (C) erhält man dann die neuen Werthe von v und v′.

Vierter Fall.

Einfluß der Oeffnungen in einem unten und oben mit einer Blendung versehenen Kanal.

434. Man muß hierbei mehrere Umstände unterscheiden; 1) wenn die obere Blendung kleiner, als die untere; 2) wenn sie größer ist; 3) wenn beide gleich sind.

435. Wenn die obere Blendung kleiner, als die untere ist, so sind die Umstände ganz denen im zweiten Falle ähnlich (429), und man mag folglich eine Oeffnung anbringen, wo man will, so wird sie Veranlassung zu einer Entwickelung von warmer Luft geben.

436. Ist dagegen die untere Blendung kleiner, als die obere, so sind die Umstände dieselben, wie beim dritten Falle (430), und eine Seitenöffnung würde nothwendig den Zutritt der äußern Luft veranlassen.

437. Nimmt man endlich an, daß beide Oeffnungen gleich seien, so könnte eine Seitenöffnung weder kalte Luft zu-, noch warme herauslassen; allein da die Reibung längs dem Kanal stets als eine Zusammenziehung am obern Ende des Kanals angesehen werden kann, so wird eine Entwickelung der warmen Luft stattfinden.

438. Im Allgemeinen werden, wenn der Kanal sehr lang ist, sei die obere Oeffnung auch größer, als die untere, die unten befindlichen Oeffnungen der äußern Luft den Zutritt gestatten, und obere Oeffnungen warme Luft entweichen lassen.

Fünfter Fall.

Einfluß der seitwärts in einem in der Mitte verengten Kanal befindlichen Oeffnung (Fig. 67).

439. Nach dem Vorhergehenden ist es kar, daß die unterhalb der Verengung befindlichen Oeffnungen warme Luft entwickeln, und daß im Gegentheil darunter vorhandene, kalte Luft eindringen lassen.

Sechster Fall.

Einfluß der in einem Kamine mit mehrern Verengungen befindlichen Seitenöffnungen.

440. Aus dem Vorhergehenden kann man leicht folgern, daß, die Anzahl der Verengungen sei, welche sie wolle, und wenn auch die beiden Enden zusammengezogen sind (Fig. 68), vor jeder Zusammenziehung ein Druck, und hinter einer jeden von denselben eine Ausdehnung stattfinden wird; daß folglich die Oeffnungen m Veranlassung zum Eindringen der äußern, und die Oeffnunge n zum Ausströmen der warmen Luft geben werden.

Alle die hier dargelegten Thatsachen, die sich unmittelbar aus der Theorie deduciren lassen, können leicht verificirt werden, wenn man blecherne Röhren von 2 bis 3 Fuß Länge, und von verschiedener Gestalt, über die Glasröhren einer Lampe mit doppeltem Luftzug stellt.

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

Wirkungen, die durch das Zusammentreffen von Luftströmen hervorgebracht werden.

441. Wir wollen zuvörderst annehmen, daß zwei Leitungsröhren in gleicher Höhe, aber in entgegengesetzten Richtungen, angebracht werden (Fig. 69), und mit einer, senkrecht auf ihrer Richtung stehenden, Abzugsröhre versehen seien. Nun ist es klar, daß, wenn beide Ströme durch einen Scheider M N von einander getrennt sind (Fig. 70), es eben so ist, als wenn die Röhren einander parallel liefen und beide Ströme keinen Einfluß auf einander ausübten; finden aber noch dieselben Verhältnisse statt, wenn beide Ströme frei auf einander stoßen? Dieses ist zu untersuchen wichtig. Haben beide gleiche Geschwindigkeit, so wirken sie ganz klar so auf einander, als wenn sie auf einen festen Körper stießen, und es finden demnach noch dieselben Verhältnisse statt, als wenn

die Ströme mitteltst des Scheiders MN getrennt worden wären. Sobald aber eine von den Strömungen eine grö=ßere Geschwindigkeit hat, als die andere, so schlägt die letz=tere zurück, und nur die erstere zieht durch den Kanal AB ab. Demnach ist es, wenn zwei ungleiche Luftströme in ent=gegengesetzter Richtung auf einander stoßen, sehr nöthig, einen festen Körper zwischen ihnen anzubringen, damit sie nicht auf einander einwirken können.

442. Wir wollen nun ferner annehmen, daß die beiden Ströme in einem rechten Winkel auf einander treffen (Fig. 71). Man muß dabei mehrere Fälle unterscheiden: 1) denjenigen, wo die Geschwindigkeit in dem Kanal AB ihr Maximum erreicht hat; 2) den, wo die Geschwindigkeit geringer ist.

443. In dem erstern Falle wird der Strom CD voll=kommen unterbrochen, und kein Atom von dem in den Ka=nal CD eingeschlossenen Gase wird nach AB dringen. Denn wir sahen schon oben (433), daß, wenn die Luft bereits die ganze Geschwindigkeit besitzt, die der den Druck hervorbringen=den Bewegung correspondirt, eine Seitenöffnung keine äußere Luft zulassen und auch keine warme Luft entwickeln kann.

444. Im zweiten Falle wird der Strom CD entstehen, obgleich er eine niedrigere Temperatur, als der in AB hat, und der Zug wird geringer werden. Nach dem oben Be=merkten kann man ihn leicht berechnen (431).

445. Man sieht hieraus, daß, wenn ein Kamin dazu bestimmt ist, kalte Luft herbei zu führen, ohne sie durch den Heerd gehen zu lassen, die warme Luft in dem Kamin noth=wendigerweise eine weit unter dem Maximum stehende Ge=schwindigkeit haben müsse; und dazu ist es hinreichend, dem gemeinschaftlichen Kamine einen größern Durchmesser zu ge=ben, als der warme Luftstrom ist (Fig. 72). Haben das ge=meinschaftliche Kamin und der warme Luftkanal gleichen Durchmesser, so muß man unter der Oeffnung des kalten Luft=kanals einen Scheider MN (Fig. 73) anbringen, oder den kalten Luftkanal in das gemeinschaftliche Kamin einbiegen.

446. In dem Obigen haben wir angenommen, daß der

warme Luftstrom senkrecht geleitet worden sei; wenn er aber horizontal in den Kamin ausläuft, so könnte es der Fall sein, daß gar kein Zug stattfände, obgleich der Durchmesser des Kamins weit größer, als der des warmen Luftkanals ist. Dieses kommt vor, wenn die Geschwindigkeit des Luftstroms sehr groß ist, alsdann durchschneidet er das gemeinschaftliche Kamin, und verschließt es, wie ein Ventil. Diese von mir in einer Menge von Fällen beobachtete Thatsache fand besonders bei einem großen Schornsteine statt, den ich in einer Sodafabrik erbauet hatte, und der zu einem Verdichtungsapparat gehörte. Dieser Schornstein war 40 Fuß hoch und fast 0,75 Metr. weit und es ging der Rauchkanal von einem Sodaofen darin in horizontaler Richtung aus (Fig. 74). Wenn das Feuer angemacht war so fand Zug statt, nahm eine Zeitlang zu, darauf wieder ab, und hörte, wenn der Ofen gehörig im Feuer war, ganz auf. Ich' erkannte die Ursache dieser sonderbaren Erscheinung bald, und verbesserte sie dadurch gänzlich, daß ich aus dem Kanal eine Röhre in dem Kamine in die Höhe gehen ließ, so daß die warme Luft nicht eher frei in demselben in die Höhe zog, als bis sie eine senkrechte Richtung hatte (Fig 75).

447. Daher muß man bei allen Kaminen, welche den warmen Luftstrom senkrecht aufnehmen, dafür sorgen, daß er parallel mit dessen Richtung geleitet werde.

Dreiundzwanzigstes Kapitel.

Von den Bewegungen der kalten Luft in Leitungsröhren.

448. Wenn kalte Luft in Leitungsröhren durch Gebläse fortgetrieben wird, so muß sie nach der Länge und dem Durchmesser der Röhre Widerstand finden, der ihre Geschwindigkeit vermindert.

449. Die Bestimmung dieses Widerstandes ist im Berg-

und Hüttenwesen von großem Interesse, denn es ist von großer Wichtigkeit zu wissen, welches der Nutzeffect gewisser Lüftungsprozesse sein kann, bis zu welchem Punkt man die Gebläse von den Oefen entfernen müsse, und welcher Verlust an Geschwindigkeit, nach der Entfernung und den Durchmessern der Leitungsröhren, stattfindet. Bis jetzt kannte man nur sich ganz widersprechende Beobachtungen über den Einfluß langer Leitungen. Lehot, Clément und Desormes sahen, daß ein einfacher Zimmer-Blasbalg an dem Ende einer 448 Metr. langen Leitung eine bemerkbare Wirkung hatte; Oberbergrath v. Baader in seinem Werke »über die englischen Cylindergebläse,« München 1805, führt an, daß der Wind von einem sehr starken Gebläse an dem Ende einer 1524 Metr. langen Leitung gar nicht bemerkt worden sei; und in allen Hütten sah man jede Entfernung des Gebläses von dem Feuer als sehr schädlich an.

450. Im Jahre 1821 machte Girard mehrere Versuche mit dem Gasapparat in dem St. Ludwigs-Hospitale, und fand, 1) daß der Widerstand proportional der Länge der Röhre und dem Quadrat der Geschwindigkeit sei, 2) daß der Widerstand nach der Beschaffenheit der Röhren verschieden sei.

451. Im Jahre 1822 machte der schwedische Bergassessor Lagerhjelm Beobachtungen über das Ausströmen der atmosphärischen Luft durch, in eine dünne Wand gebohrte, Oeffnungen, und über die Einsaugung, welche an der Wand einer kurzen Röhre, durch welche Luft unter bestimmtem Drucke ausströmt, stattfindet. Diese Arbeit Lagerhjelm's wurde durch Olivier dem Institute (von Frankreich) mitgetheilt, und aus dem Bericht der Commissarien, die mit ihrer Prüfung beauftragt worden waren, ist das Folgende entnommen.

452. Lagerhjelm's Apparat besteht aus einer cylinderförmigen Glocke von geschlagenem Kupfer, die in ein Gefäß mit Wasser eingetaucht ist. Ueberläßt man diese Glocke ihrer eigenen Schwere, oder drückt man sie mittelst eines Gewichts nieder, so wird die darin enthaltene Luft zusammengepreßt, und das Uebermaaß des Drucks wird durch die Differenz des

Niveaus des Wassers innerhalb und außerhalb der Glocke genau gemessen.

In dem Boden des Gefäßes ist eine gekrümmte Röhre befestigt, deren eines Ende durch das Wasser geht und sich unter der Glocke über sein Niveau erhebt, und von der das andere Ende durch das Gefäß geht, sich senkrecht erhebt, und dessen Mündung mit einem dünnen Blättchen, das mit einer kleinen Oeffnung versehen, bedeckt ist. Es ist nun klar, daß die gepreßte Luft durch diese Oeffnung entweichen wird, und zwar unter einem Drucke, der durch die Differenz des Niveaus gemessen wird. Man hat den Durchmesser der Oeffnungen von $\frac{4}{100}$ bis zu $\frac{11}{100}$ Fuß vergrößert, und die Differenz des Niveaus von $\frac{161}{100}$ bis zu $\frac{19}{100}$ verändert, auch dabei die Barometerhöhe und die Temperatur berücksichtigt.

Nachdem Lagerhjelm nun die Menge der Kubikfuße zusammengepreßter Luft, die in einer bestimmten Zeit, unter einem bestimmten Drucke und aus einer bestimmten Oeffnung ausgeströmt war, gemessen hatte, berechnete er die Wassermenge, die in derselben Zeit, unter demselben Druck und durch dieselbe Oeffnung abgeflossen sein würde. Dabei fand er, daß sich dies Volum Wasser zu dem Volum Luft ohngefähr wie 100 zu 2875 verhalte; d. h. indem man anninmt, daß sich das specifische Gewicht der Luft und des Wassers wie 1 zu 840, wie das umgekehrte Verhältniß der Quadratwurzeln dieses Gewichts verhalte, welches mit der Formel über den Abfluß der unzusammenpreßbaren Flüssigkeiten übereinstimmt. Man muß den Druck nach einer Flüssigkeit von gleicher Dichtigkeit abschätzen; oder, da der Druck der Luft eine 840mal größere Höhe, als die der Wassersäule giebt, und da die Geschwindigkeiten der Quadratwurzeln den Höhen proportional sind, so sieht man, daß der Abfluß einer unzusammenpreßbaren Flüssigkeit von gleicher Dichtigkeit mit der Luft, unter gleichem Druck, eine weit größere Geschwindigkeit erlangen würde, als die des Wassers ist, und zwar in dem umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzeln dieser beiden Flüssigkeiten.

Jedoch muß das Verhältniß ein klein wenig geringer sein, denn die Luft strömt nicht unter dem Drucke von 0,76 Metr. aus, sondern es ist zusammengepreßte Luft von weit größerer Dichtigkeit. Wenn Lagerhjelm keine bemerkbare Differenz fand, so hat das darin seinen Grund, daß die Zusammenpressung nie stark genug gewesen ist, um die Dichtigkeit der Luft wesentlich zu verändern. Dieses Resultat wurde schon von Banks gefunden.

453. Lagerhjelm setzte darauf andere Röhren auf jene, und erhielt Resultate, die denen, welche sich beim Ausfluß der unzusammenpreßbaren Flüssigkeiten zeigen, ganz ähnlich sind.

454. Im Jahre 1826 machte der Oberberg-Ingenieur d'Aubuisson neue Versuche über das Ausströmen der zusammengepreßten Luft, und aus der Vergleichung von mehr als 150, mittelst eines, dem oben beschriebenen ähnlichen Apparates, sind folgende Werthe für die Zusammenziehung der flüssigen Ader, d. h. für die Zahlen, mit welchen man die theoretischen Geschwindigkeiten multipliciren muß, um die wirkliche Geschwindigkeit zu erhalten, gefunden worden. Diese Zahlen sind:

0,65 für eine in eine dünne Wand gebohrte Oeffnung,
0,93 für einen kurzen cylindrischen Ansatz,
0,95 für einen kurzen sich erweiternden Ansatz.

Im Jahre 1827 setzte d'Aubuisson die Versuche fort, um den Widerstand, den die Luft in langen Röhren erleidet, zu bestimmen.

Die große Leitung hatte 400 Metr. Länge. Wenn man sie theilweise nahm, so machte man die Wirkung der Länge augenscheinlich, und für jede Länge wechselte man die Kraft, welche die Luft in Bewegung setzte. Man wechselte die Geschwindigkeit, indem man an dem Ende Ansätze von verschiedenen Durchmessern befestigte; und um endlich die Durchmesser der Leitungsröhren zu verändern, ließ man zwei kleinere Leitungsröhren von 55 Metr. Länge machen, von denen die eine die Hälfte, und die andere ein Viertel des Durchmessers der großen hatte.

455. Das Gebläse war eine Wassertrommel, ähnlich de-

nen, wie sie gewöhnlich in den Eisenwerken der Pyrenäen angewendet werden. Es bestand aus einer, aus einem Fichtenstamme gebohrten, 8,4 Metr. langen Röhre, die in ein Faß von 1,32 Metr. Höhe, und im Bauche von 1,15 Metr. Durchmesser auslief. Unten war das Faß offen, und stand in einem Wasserbecken von 0,85 Metr. Tiefe. Das Wasser erhielt das Wassertrommelgebläse aus einem benachbarten kleinen Bache, der in der Secunde 0,025 bis 0,030 Kubikmetr. herbeiführte. Man hatte mit großer Sorgfalt ein Reservoir angelegt, das mit einem Schütz versehen war, damit man die von der Maschine angewendete Wassermenge, die bis 0,040 betragen konnte, genau zu messen im Stande war.

456. Diese Maschine, die 0,85 Metr. im Wasser stand, konnte die ausgehende Luft so verdichten, daß ihre Elasticität die der atmosphärischen Luft um eine 0,85 Metr. hohe Wasser-, oder um eine 0,0624 Metr. hohe Queckfilbersäule überwiegt. Die Geschwindigkeit der einem ähnlichen Drucke correspondirenden Luft, beträgt fast 109 Metr. in der Secunde.

457. Die von dem Wassertrommelgebläse nach einem, mit frischen Wettern zu versehenden, Stollen ausgehende Leitung bestand aus weißblechernen Röhren von 0,10 Metr. Länge, die aneinander gelöthet waren, und die an ihrem Anfange zwei Biegungen von 90°, jedoch wohl abgerundet hatten. Die gerade Längenerstreckung in dem Stollen betrug 387 Metr. Man war gewiß, daß die Röhren nirgend einen Ritz hatten.

Die Ansätze oder Deupen an dem Ende hatten 0,05, 0,03 und 0,02 Metr. Oeffnungsweite.

Für die Leitung von 0,05 Metr. Durchmesser hatten sie 0,30, 0,02, 0,10 Metr.

Die Leitung von 0,025 hatte sie von 0,02 und 0,01 Metres.

Da, wo die Ansätze anfingen, hatten sie Ringe zur Aufnahme von Windmessern.

An den beiden Enden der Leitung waren zwei Wasser-

windmesser vorhanden, welche den Druck der Luft in diesen Theilen der Röhren maßen.

458. Es ist klar, daß die Differenz der Höhe der beiden Windmesser den durch die Reibung verursachten Kraftverlust angeben wird; denn, wenn der der Widerstand Null wäre, so würde die Pressung an beiden Enden des Kanals gleich sein.

Die Pressung am Ende des Kanals diente dazu, die Geschwindigkeit der Luft bei ihrem Ausgange, mittelst der Formeln des Ausströmens unzusammenpreßbarer Flüssigkeiten, zu berechnen, und man muß dabei annehmen, die Zusammenziehung der flüssigen Ader finde statt, wenn sie durch in eine dünne Wand gebohrte Oeffnungen, oder durch einen kurzen Ansatz ausströme.

459. D'Aubuisson hat demnach folgende Gesetze gefunden:

1) der Widerstand ist der Länge des Kanals proportional;
2) der Widerstand nimmt nach dem Quadrate der Geschwindigkeit zu;
3) der Widerstand steht im umgekehrten Verhältnisse zu dem Durchmesser des Kanals.

460. Unter den gewöhnlichen Umständen beträgt die Quantität der Luft in einer Minute in einer Leitungsröhre 2279, multiplicirt mit der Quadratwurzel des am Anfange der Leitung mit Queckſilber gemessenen Druckes, multiplicirt mit der 5. Potenz des Durchmessers, und dividirt durch die Länge des Kanals + dem 47fachen Verhältnisse der 5. Potenz des Durchmessers der Leitung, und der 4. von dem des Ansatzes [1]).

461. Wäre die Leitung ganz offen, so wäre die Quantität gleich sein 2450, multiplicirt mit der Quadratwurzel des Drucks, multiplicirt mit der 5. Potenz des Durchmessers,

---

[1]) Nennt man die Quantität Q und den Druck H, so erhält man

$$Q = 2279 \sqrt{\frac{H\ D^5}{L + \frac{47\ D^5}{d^4}}}.$$

und dividirt durch die Länge des Kanals, vermehrt um das 47fache des Durchmessers [1]).

462. Würde der Druck nach der Höhe des Wassers gemessen, so würde man die Quantität erhalten, indem man die Zahl 664 durch die Quadratwurzel des Wasserdrucks, multiplicirt mit der 5. Potenz des Durchmessers, und dividirt durch die Länge des Kanals + dem 47fachen Diameter, multiplicirt [2]).

---

[1]) Die Formel ist $Q = 2450 \sqrt{\frac{H\ D^5}{L + 47\ D}}$.

[2]) Die Formel ist $Q = 664 \sqrt{\frac{H\ D^5}{L + 47\ D}}$.

Vierter Abschnitt.

Von den Kaminen oder Essen.

Vierundzwanzigstes Kapitel.

Elemente, welche die Dimensionen der Kamine oder Essen bestimmen.

463. Die Verbrennungs-Apparate sind besonders nach der Beschaffenheit des Brennmaterials, nach der des Körpers, in welchen man die Wärme übergehen lassen will, nach der hervorzubringenden Wirkung, oder je nachdem man bloß die durch den warmen Luftstrom herbeigeführte, oder lediglich die strahlende Wärme, oder endlich beide Arten der Wärmeentwickelung zugleich benutzen will, verschieden.

464. Man kann jedoch in den Verbrennungs-Apparaten im Allgemeinen drei bestimmte Theile unterscheiden: den Heerd; den Ort, wo der Körper, welcher die Einwirkung der Wärme erleiden soll, befindlich ist; der Kamin oder die Esse. Die beiden erstern fallen oft zusammen, wie bei den gewöhnlichen Heerden zum häuslichen Gebrauche, bei gewissen Oefen zum Schmelzen der Metalle ꝛc.; allein das letztere ist immer getrennt, und fehlt nie, mit Ausnahme bei den Apparaten mit starkem Luftzuge.

465. Die beiden ersten Theile können nur in den verschiedenen besonders vorkommenden Fällen untersucht werden, allein da die Kamine stets dieselben Functionen haben und daher stets nach gleichen Principen construirt werden müssen, so können sie unter allgemeinen Gesichtspunkten betrachtet werden, und das ist der Zweck dieses Kapitels.

466. Die Kamine erfüllen stets zwei verschiedene und

gleich wichtige Zwecke. 1) Sie bringen die zur Verbrennung benutzte, Kohlensäure und sehr fein zertheilte brennbare Materien enthaltende Luft, die in den Werkstätten stets unbequem und oft schädlich sein würde, auf bedeutende Höhen in die Atmosphäre; 2) sie geben der zum Brennmaterial strömenden Luft eine hinlängliche Geschwindigkeit, um die Verbrennung zu befördern.

467. Die zu den Essen durchaus erforderlichen Dimensionen hängen: 1) von der Luftmenge ab, welche sie in einer gewissen Zeit zum Brennmaterial führen müssen, d. h. von der Menge des Brennmaterials, welches in einer gewissen Zeit verbrannt werden muß; 2) von ihrer Höhe; 3) von der Temperatur der warmen Luft, welche sie durchströmt.

468. Bestimmung der zur Verbrennung der verschiedenen Brennmaterialien nöthigen Luftmenge. Wir haben hierüber (365) eine Tabelle mitgetheilt. Jedoch sind die in den gewöhnlichen Apparaten wirklich angewendeten Luftmengen weit größer als die, welche, genau genommen, erforderlich sind. Die angewendeten Luftmengen hängen nicht allein von der Einrichtung des Heerdes, sondern in jedem Apparate auch von der Beschaffenheit des Brennmaterials, von der Größe der Stücke, von ihrer Lage in dem Heerde und von der Stärke der brennbaren Schicht, welche die Luft durchstreichen muß, ab. Man begreift demnach leicht, wie sehr die angewendete Luftmenge verschieden sein muß. Indessen ist es doch nöthig, wenigstens eine Annäherung zu erhalten, auf die man sich stützen kann. Nach einer großen Anzahl von Luft-Analysen, die ich an der Mündung von Kaminen genommen habe, auf deren Heerde sehr regelmäßig Steinkohlen verbrannt wurden, habe ich gefunden, daß die der Verbrennung gewöhnlich entgehende Luftmenge fast der Hälfte der ganzen gleich ist, und nur dann $^1/_3$ oder $^1/_4$ beträgt, wenn ein sehr starker Zug stattfindet. Bei Heerden, auf denen Holz verbrannt wird, ist, wenn die Verbrennung auf einem Rost stattfindet, das Verhältniß fast dasselbe, und dies ist auch bei Holzkohlen der Fall, wenn der Rost wenigstens 10 Centimeter

stark mit Kohlen von mittlerer Größe bedeckt ist. Bei Koaks, besonders wenn diese in großen Stücken angewendet werden, ist aber das Verhältniß weit größer. In mehreren Oefen, bei denen ich Beobachtungen zu machen Gelegenheit hatte, fand ich, bei langsamer Verbrennung, nicht ein Viertel verbrannter Luft; bei schneller Verbrennung erhob sie sich zu einem Viertel. Mit Torf und Torfkohlen Versuche zu machen, habe ich nicht Gelegenheit gehabt, allein es ist wahrscheinlich, daß die Resultate von den bei den Steinkohlen und dem Holze erhaltenen verschieden gewesen sein werden. In allen Fällen ist es klar, daß die Menge der der Verbrennung entweichenden Luft noch weit größer ist, wenn die Thür des Heerdes geöffnet, wenn nicht der ganze Rost mit Brennmaterial bedeckt ist, und wenn man den Heerd heizt. Es ist jedoch in dem Vorhergehenden nicht von den Küchenheerden, Stubenöfen und Stubenkaminen die Rede, denn die aus diesen ohne Veränderung entweichende Luft ist noch weit größer. Wir kommen später auf diese Apparate zurück.

469. Die erwähnten Versuche habe ich auf folgende Weise gemacht. Um die Luft aus einem Kamine zu erhalten, füllte ich eine Flasche mit gewöhnlichem Wasser, und ließ sie in dem Kamin, ein wenig unterhalb dessen oberer Oeffnung, ausieeren; man verschloß sie, wenn sie leer und noch umgekehrt war. Das Wasser war, in dem Maaße, daß es ausfloß, durch die Kaminluft ersetzt. Es kam nun nur darauf an, zu wissen, wie viel Kohlensäure diese Luft enthalte. Hierzu gelangt man aber leicht, wenn man eine bekannte Menge von dieser Luft in eine graduirte Röhre, die mit Wasser angefüllt ist und über einem mit derselben Flüssigkeit angefüllten Gefäße umgekehrt steht, bringt, unter die Glocke ein Stückchen kaustisches Kali legt und sie umschüttelt. Die Kohlensäure wird absorbirt, und die Verminderung des Volums giebt genau die in der Luft enthaltene Kohlensäure-Menge, oder die Menge des verbrannten Sauerstoffes an; denn ein Volum Sauerstoff bringt genau dasselbe Volum Kohlensäure hervor. Hätte man z. B. 100 Theile Luft in die Röhre gebracht, und das Volum hätte sich

durch das Kali um 10 vermindert, so folgte daraus, daß das Gas $^1/_{10}$ Kohlensäure enthalte; oder da die Luft auf 100 Theilen 21 Theile Sauerstoff enthält, so folgt daraus, daß die Hälfte der Luft verbrannt sei. Diese Methode ist sehr genau, wenn das Brennmaterial nur aus Kohlenstoff besteht, wie dies bei den Holz- und Torfkohlen und bei den Koaks der Fall ist. Enthält es aber, wie die Steinkohle, das Holz und der Torf, auch Wasserstoff, so ist sie unsicher, indem durch die Verbrennung des letztern Wasserdämpfe entstehen, die sich bei der Abkühlung größtentheils verdichten. In diesem Falle muß man die Menge des freien Sauerstoffs, die sich in der aus dem Kamine kommenden Luft findet, bestimmen; man gelangt dazu mittelst mehrerer Prozesse, die in allen Lehrbüchern der Chemie beschrieben worden sind, auf welche wir daher verweisen.

Aus dem Vorhergehenden nehmen wir als eine in der Praxis hinreichende Annäherung an, daß die zu unsern gewöhnlichen Heizapparaten nöthige Luftmenge, in denen die Verbrennung auf einem Roste stattfindet, doppelt so groß als die ist, welche wirklich bei Heerden, die mit Holz oder Steinkohlen unterhalten werden, angewendet wird, und bei Koaks, nach der Größe der Stücke und der Lebhaftigkeit der Verbrennung, auch wol drei- oder viermal so groß.

470. Demnach nehmen wir, nach der oben aufgeführten Tabelle, zur Verbrennung dieser verschiedenen Combustibilien folgende Luftmengen an:

für 1	Kilogramm	Steinkohle von mittlerer Güte	20	Kubikmetr.
» 1	»	trocknes Holz	10	»
» 1	»	Holz von einem gewöhnlichen Grade der Trockenheit	7,50	»
» 1	»	Koaks	18	»
» 1	»	Holzkohlen	18	» [1]).

[1]) Es scheint mir sehr unwahrscheinlich zu sein, daß Holzkohlen und Koaks gleiche Luftmengen zur Verbrennung erfordern sollten, wenigstens widerspricht dies allen beim Betriebe der Hohöfen gemachten Erfahrungen. H.

Man kann daher für jeden besondern Fall die zur Verbrennung nöthige Luftmenge leicht bestimmen, wenn man die Beschaffenheit und die Menge des Brennmaterials, welches in einer gewissen Zeit verzehrt werden soll, kennt.

471. Die Beschaffenheit des Brennmaterials wird, wie schon bemerkt worden, theils durch die Beschaffenheit der Operationen und durch den Preis der Brennmaterialien, verglichen mit ihrer Wärmekraft, bedingt (370 bis 376).

Die anzuwendende Menge der Brennmaterialien hängt von der Beschaffenheit und der Menge der hervorbringenden Wirkung ab; wir werden weiter unten eine Anleitung mittheilen, sie für jeden einzelnen Fall zu berechnen.

472. Höhe des Kamins. Die den Kaminen zu gebende Höhe hängt von mehreren Localumständen ab, wie leicht zu begreifen ist; allein in allen Fällen ist es stets vortheilhaft, ihnen die möglichst größte Höhe zu geben. Es muß wohl bemerkt werden, daß wir hier unter der Höhe des Kamins die Höhe der warmen Luftsäule verstehen, welche die Bewegung hervorbringt, und nicht die Länge des Kanals. Demnach muß die Höhe des Kamins, von dem Heerde ab, senkrecht genommen werden, die Krümmungen des Kanals der warmen Luft seien, welche sie wollen. Wenn z. B. der Circulations-Kanal die Gestalt A B C D (Fig. 76) hätte, würde die, die Bewegung bestimmende, Höhe der warmen Luftsäule A M sein. Denn wenn man die horizontale Linie A G zieht, so ist es offenbar, daß die beiden Luftsäulen A B und C D in gegenseitigem Gleichgewicht stehen, und daß ein Gleiches mit den Säulen D F und F G stattfindet. Demnach hängt die Bewegung nur von der Säule N G = A M ab.

Die ganze Länge des Kanals besteht: 1) aus der Länge des Kamins, dessen Höhe verschieden, wenn es nicht senkrecht ist; 2) aus der Circulation, welche den Rauch des Heerdes unter den Kamin führt; diese zweite Abtheilung des Kanals ist oft sehr bedeutend, besonders bei den Heerden großer Kessel, um welche man den Rauch mehrere Male circuliren läßt.

473. Temperatur der warmen Luft. Die mittlere

Temperatur der Luft in einem Kamine hängt 1) von der Temperatur ab, in welcher die Luft in den Kamin gelangt; 2) von der Abkühlung, welche auf dem Wege, den der Rauch macht, stattfindet.

474. Die Temperatur der warmen Luft, bei ihrem Eintritte in den Kamin, hängt von vielen besondern Umständen ab; sie ist aber stets höher, als die des zu erheizenden Körpers, und nähert sich ihm um so mehr, als sie längere Zeit um ihn circulirt. Es geht daraus hervor, daß, wenn der der Einwirkung der Wärme ausgesetzte Körper nur eine bestimmte Temperatur erlangen kann, man eine Gränze hat, welche die Temperatur der warmen Luft, bei ihrem Eintritt in den Kamin, stets um eine variable Menge, nach den verschiedenen Apparaten, aber bei demselben Apparat fast constant, wenn die Heizung gleichmäßig ist, übertrifft. Bei der Verdampfung des Wassers, bei niedrigem Drucke z. B., hat das Wasser wenigstens eine Temperatur von 100°, daher ist die warme Luft, sobald sie aufhört mit dem Kessel in Berührung zu sein, stets wärmer als 100°; allein diese untere Gränze ist oft sehr von der Temperatur entfernt, welche die warme Luft bei ihrem Entweichen aus dem Kamine hat.

Uebrigens kann die Temperatur der Luft bei ihrem Eintritte in den Kamin annähernd durch Versuche mit Apparaten gefunden werden, die denen ähnlich sind, welche man vorrichtet, indem man ein Thermometer in den Kamin bringt, oder einen festen Körper, dessen Temperatur man durch die Methode (187) bestimmt; man muß aber stets eine geringere, als eine höhere Temperatur annehmen.

475. Endlich muß man auch den Wärmeverlust der warmen Luft von ihrem Zuge, vom untersten bis zum obersten Theile des Kamins, kennen, um daraus die mittlere Temperatur zu deduciren, welche wirklich die ist, welche die aufsteigende Bewegung veranlaßt.

476. Kennte man die Temperatur der Luft an beiden Enden des Kamins, so würde die mittlere offenbar der halben Summe der beiden erstern gleich sein. Construirt man aber

einen Apparat, so kennt man die untere Temperatur des Kamins nur annäherungsweise, und die am obern Ende gar nicht, weshalb man die letztere aus der erstern ableiten können müßte. Dies wollen wir nun sowol mittelst Folgerungen, als Beobachtungen, zu thun versuchen. Kennt man die mittlere Temperatur, so bleibt nur, um die Dimensionen des Kamins kennen zu lernen, übrig, daß man seinen Durchmesser bestimmt, und dies soll in einem der folgenden Kapitel geschehen.

Fünfundzwanzigstes Kapitel.

Gesetze der Abkühlung der Luft in einem Kamine.

477. Wenn eine warme Luftsäule, von einer constanten Temperatur an ihrer Basis, sich in einem isolirten Kamine erhebt, so ist die Abkühlung beim Anfange der Bewegung sehr beträchtlich, indem sich der Kamin erwärmt und eine große Menge Wärme aus der Luft absorbirt; ist aber die Temperatur des Kamins an der innern Oberfläche constant geworden, so findet die Abkühlung der warmen Luft nur durch die der äußern Oberfläche statt. Die durch die äußere Oberfläche verlorne Wärme wird durch die unmittelbar darauf folgende und die weitern Schichten der warmen Luft ersetzt. Wir wollen nun zuvörderst sehen, welches die Gesetze der Abkühlung, bei einem sehr kleinen Querschnitte des Kamins, seien.

478. Wenn, bei übrigens gleichen Umständen, nur die Temperatur des warmen Luftstroms zunimmt, so ist es klar, daß die Temperatur der äußern Oberfläche des Kamins, im Verhältnisse der Differenz der warmen und der äußern Luft, zunehmen wird, und da, wie wir sahen (21), die Geschwindigkeit der Abkühlung eines Körpers in der Luft nach dieser Differenz sehr verschieden ist, so können wir als Grundsatz annehmen: daß der Wärmeverlust für ein und denselben Kamin proportional der Differenz der Temperatur zwischen der warmen und der äußern Luft sei.

479. Dieser Wärmeverlust ist aber der Temperatur-Verminderung der warmen Luftsäule nicht gleich; denn wenn zu derselben Zeit, daß die Temperatur zunimmt, die Geschwindigkeit auch zunimmt, wie es immer der Fall ist, so wird der Wärmeverlust in einer gegebenen Zeit auf ein weit größeres Luft-Volum genommen werden können, und folglich wird die Temperatur desselben Theiles warmer Luft in einem weit geringern Verhältnisse vermindert werden, als der Ueberschuß der Temperatur zunimmt. Man sieht hieraus leicht, daß der Temperaturverlust im umgekehrten Verhältnisse zu der Geschwindigkeit stehet, und wir nehmen daher als zweites Gesetz an: daß die Verminderung der Temperatur das umgekehrte Verhältniß der Geschwindigkeit habe.

480. Wir wollen jetzt den Einfluß des Durchmessers von dem Kamine untersuchen. Es ist klar, daß, da es die äußere Oberfläche des Kamins ist, welche, indem sie sich abkühlt, die Temperatur der warmen Luft vermindert, und daß, bei gleichen Umständen, die Menge der von einer Oberfläche entwickelten Wärme proportional der Ausdehnung dieser Oberfläche sei, daraus hervorgehe, daß der Wärmeverlust dem Durchmesser proportional sei. Da aber der Durchschnitt des Kamins, und folglich das Volum der warmen Luft, wie das Quadrat des Durchmessers, zunimmt: so wird die Abnahme der Temperatur der Luft offenbar im umgekehrten Verhältnisse des Durchmessers von dem Kamine stehen.

481. Auch die Dicke des Kamins hat einen großen Einfluß, denn um so größer diese bei übrigens gleichen Umständen ist, um so mehr Zeit gebraucht die Wärme, um durchzudringen, und um so geringer wird der Wärmeverlust in einer gegebenen Zeit sein. Herr Fourier hat in seinem schönen Werke über die Wärme, das Gesetz der Abkühlung eines Körpers unter, dem vorliegenden Falle ganz analogen, Umständen kennen gelehrt. Wenn ein fester Körper zwei parallele Oberflächen an seinen Enden hat, von denen die eine in einer constanten Temperatur erhalten wird, die andere aber in Be-

rührung mit Luft ist, die auch eine unveränderliche Temperatur hat, so hat Fourier eine Formel gegeben, mittelst welcher man die Temperatur der äußern Oberfläche des Körpers, wenn man die constante Temperatur der innern Oberfläche, die der Luft, die eigenthümliche Leitungsfähigkeit der Substanz, die der Oberfläche und endlich auch die Stärke des Körpers weiß, erkennt. Man begreift leicht, daß man alsdann aus dieser Formel die Menge der von der Oberfläche in einer gegebenen Zeit entwickelten Wärme ableiten kann [1]). Man deducirt aus dieser Formel folgendes Gesetz: der Wärmeverlust in einem sehr engen Durchschnitt eines Kanals, dessen innere Oberfläche einer constanten Temperatur unterworfen, und dessen andere Oberfläche in Berührung mit der Luft, die ebenfalls eine constante Temperatur hat, steht, ist proportional der Einheit, getheilt durch die Stärke, multiplicirt durch die Leitungsfähigkeit der Oberfläche und vermehrt um die eigenthümliche Leitungsfähigkeit des Körpers [2]).

482. Für Körper, die eine geringe Leitungs-Fähigkeit besitzen, kann man den Wärmeverlust, als im umgekehrten Verhältnisse zu der Dicke stehend, ansehen [3]). Wir nehmen

---

[1]) Wenn man die Temperatur der innern Oberfläche a, die constante Temperatur der Luft b, die Temperatur der äußern Oberfläche B, die eigenthümliche Leitungsfähigkeit der Substanz k, die Leitungsfähigkeit der Oberfläche h und die Stärke des Körpers e nennt, so ist

$$B = a - \frac{h\,e\,(a - b)}{h\,e + k}.$$

[2]) Der Wärmeverlust ist offenbar B — b proportional, oder die vorvergehende Formel giebt: $B - b = (a - b)\,k\,\frac{1}{h\,e + k}$.
Und da $(a - b)\,k$ constant ist, wenn alle Elemente, mit Ausnahme von e, constant bleiben, so ist B — b proportional $\frac{1}{h\,e + k}$.

[3]) Da k sehr klein ist, so kann man $\frac{1}{h\,e}$ für $\frac{1}{h\,e + k}$ nehmen, und

dieses letztere Gesetz als eine hinlängliche Annäherung für den vorliegenden Gegenstand an.

483. In dem Vorhergehenden haben wir den Wärmeverlust nur in einem sehr kleinen Durchschnitte des Kanals betrachtet; es bleibt uns nun der Einfluß der Höhe zu untersuchen übrig. Es ist augenscheinlich, daß, wenn die Temperatur der warmen Luft constant bliebe, der Wärmeverlust der Höhe des Kamins proportional sein würde; dies ist aber nicht der Fall, die Temperatur vermindert sich fortwährend, und folglich ist der Wärmeverlust in gleichen Durchschnitten des Kanals in stetem Abnehmen. Das von der Höhe abhängende Gesetz der Abkühlung läßt sich nur durch algebraische Formeln bestimmen und ausdrücken.

484. Man ersieht aus dem Vorhergehenden, wie schwierig die Bestimmung der Temperatur am obern Ende eines Kamins ist, wenn man alle Umstände, welche sie verändern, die Temperatur am untern Ende, die der Luft, die Geschwindigkeit, den Durchmesser, die Dicke und endlich die Höhe berücksichtigen will. In einer Anmerkung, am Ende dieses Bandes, ist durch eine Verbindung der Analyse mit einer ungeheuren Menge von Erfahrungen, diese Aufgabe vollständig gelöst worden. Es ist zu bedauern, daß wir die erhaltenen Formeln nicht hier in gewöhnlichen Ausdrücken mittheilen können; denn die Frage ist von großer Wichtigkeit, nicht allein bei der Construction der Kamine, sondern auch bei der Luftheizung [1]).

B — b ist dann $\frac{1}{h\ e}$ proportional. Man wird einsehen, daß die Annäherung um so größer, je bedeutender die Dicke ist.

[1]) Bezeichnet man mit T (n) das Uebergewicht der Temperatur der Luft am obern Ende des Kamins über die der äußern Luft, durch T das Uebergewicht der Temperatur am untern Ende des Kamins über die der atmosphärischen Luft, durch L die Länge des Kanals, durch D seinen Durchmesser, durch V die Geschwindigkeit, durch E die Dicke der Kaminwände, so erhält man für Kamine von gebranntem Thon,

$$\text{Log. T (n)} = \text{Log. T} - \frac{0{,}000061\ \text{L}}{\text{D E V}};$$

485. Mit Kaminen von Ziegelsteinen habe ich, zur Bestimmung des Gesetzes der Abkühlung der Luft, keine Versuche gemacht, nach dem (482) Gesagten entfernt man sich nicht weit von der Wahrheit, wenn man annimmt, daß der Coefficient der Abkühlung im umgekehrten Verhältnisse zur Dicke steht, und indem man die, in der vorhergehenden Anmerkung aufgeführte, sich auf thönerne Kamine beziehende Formel gebraucht.

486. In dem Vorhergehenden haben wir angenommen, daß die Kamine cylindrisch seien; hätten sie eine andere Gestalt, so würde der Wärmeverlust auch größer sein, weil für Durchschnitte von gleicher Größe die sich abkühlende Oberfläche weit größer ist. Es ist leicht einzusehen, daß im Allgemeinen für Kamine von gleichen Durchschnitten, sie mögen eine runde oder eine andere Gestalt haben, die Abkühlung, bei gleichen Umständen, dem Umfange proportional sein wird. Jedoch sind die obigen Formeln auch auf viereckige Kamine anwendbar, wie man aus der untenstehenden Formel ersehen kann [1]).

---

für Kamine von Blech von $^1/_2$ Milliometer Stärke:

$$\text{Log. T (n)} = \text{Log. T} - \frac{0{,}01350\ \text{L}}{\text{D V}};$$

für Kamine von Gußeisen von 1 Centimeter Stärke:

$$\text{Log. T (n)} = \text{Log. T} - \frac{0{,}02430\ \text{L}}{\text{D V}}.$$

Die beiden letztern berücksichtigen die Stärke nicht, indem das Blech und das Gußeisen sehr gute Wärmeleiter sind, und man daher die Abkühlung nicht proportional der Stärke annehmen darf. Siehe die vorhergehende Anmerkung.

[1]) Nimmt man, um die Formel auf ein quadratisches Kamin anwenden zu können, ein eingeschrieben zirkelförmiges Kamin an, so müßte man den Coefficienten der Abkühlung mit dem Verhältniß des Umfanges des Quadrats zum Quadrat des Kreises, d. h. durch $4D : \pi D$, oder durch $\frac{4}{\pi}$ multipliciren. Zu gleicher Zeit müßte man ihn aber auch durch das Verhältniß des kreisförmigen Durchschnittes zu dem quadratischen Durch-

Sechsundzwanzigstes Kapitel.

Bestimmung der Geschwindigkeit des Ausströmens der Luft aus einem Kamine, wenn man seine Höhe, seinen Durchmesser uud die Temperatur der Luft am untern Ende kennt.

487. Wenn die Temperatur der warmen Luft in dem ganzen Kanal gleich bliebe, so würde die Aufgabe dieselbe sein, welche (406) aufgelöst worden ist; sie bliebe auch noch dieselbe, wenn man die Temperatur der Luft am untern und obern Ende des Kamins kennte, weil man alsdann die mittlere Temperatur erhielte, wenn man die halbe Summe der äußersten Temperaturen nähme.

488. Wenn die Essen aus Ziegelsteinen bestehen, so kann man in der Praxis, ohne einen bemerkbaren Fehler zu machen, annehmen, daß die Temperatur wenig verändert sei, besonders wenn die Geschwindigkeit sehr groß ist: alsdann erhält man dieselbe auch durch die Formel (406).

489. Haben die Kamine dünne Wände und ist die Temperatur der Luft sehr gering, oder auch, sind die Kamine sehr groß, so kann man auch noch die obige Hypothese annehmen, oder wenigstens eine mittlere, etwas niedrigere Temperatur, und dieselben Formeln werden die Geschwindigkeit auch noch geben.

490. Ist aber die Abkühlung der Luft so bedeutend, daß sie nicht unberücksichtigt gelassen werden darf, so wird die

---

schnitte multipliciren, indem die Abkühlung der Luft im umgekehrten Verhältnisse zu dem Durchschnitte steht; demnach wird also der neue Factor $\frac{\pi D^2}{4} : D^2$ oder $\frac{\pi}{4}$ sein. Da nun der zweite Factor den ersten hebt, so wird der Coefficient keine Veränderung erleiden. Wir müssen demnach sagen, daß dies voraussetzt, daß die Geschwindigkeit bei quadratischen und cylindrischen Kaminen, unter gleichen Umständen, gleich sei. Dies ist jedoch nicht ganz der Fall, da in den quadratischen die Reibung etwas größer ist, weil bei gleichen Durchschnitten auch die Umkreise größer sind.

Aufgabe sehr verwickelt, weil die Geschwindigkeit von der mittlern Temperatur, diese von der Temperatur am obern Ende abhängt, und weil diese letztere selbst mit der Geschwindigkeit wechselt. Diese gegenseitigen Abhängigkeiten würden nur eine einfache Verwickelung zeigen, wenn die Formeln, welche die Geschwindigkeit und die Temperatur am obern Ende des Kamins bestimmen, von der Beschaffenheit wären, daß sie mit andern combinirt, oder durch andere substituirt werden könnten, von denen die eine, unabhängig von der Geschwindigkeit, die Temperatur am obern Ende angeben würde; allein da die Formeln von der Art sind, daß sie eine solche Umbildung nicht erlauben, so muß man sich mit einer Methode begnügen, die eine Annäherung giebt, welche in der untenstehenden Anmerkung aus einander gesetzt worden ist [1].

---

[1]) Um unsere Folgerungen deutlicher zu machen, nehmen wir die auf die thönernen Kanäle sich beziehenden Formeln.

$$\text{Log. T (n)} = \text{Log. T} - \frac{0{,}000061\ \text{L}}{\text{D E V}}; \text{ (1)}$$

$$\text{V} = 8{,}85 \sqrt{\frac{\text{P D}}{\text{L} + 4\ \text{D}}}; \text{ (2)}$$

$$\text{P} = 0{,}00375 \left(\frac{\text{T} + \text{T (n)}}{2}\right) \text{h}; \text{ (3)}$$

Man beginnt damit, V und T (n) einen willkührlichen Werth, jedoch so annähernd als möglich, zu geben, wodurch mit Hülfe der Gleichungen (2) und (3) V einen neuen, nähern Werth erhält. Man substituirt diesen zweiten Werth von V in der Gleichung (1) und die Gleichungen (2) und (3) geben darauf einen neuen, noch nähern Werth von V, als der zweite ist, und so fort, bis man identische, oder nur sehr wenig differirende Werthe von V findet.

Man könnte für den ersten Werth von V den annehmen, welcher aus der Gleichung (2) hervorgeht, indem man in der Gleichung (3) T = T (n) annimmt. Befolgt man diese letztere Methode, so ist der dritte Werth von v fast immer annähernd genug. — Wir wollen diese Methode auf ein besonderes Beispiel anwenden: Man nehme ein Kamin von Thon von 20 Meters Höhe und 0,30 Metr. Durchmesser an, dessen Temperatur am untern Ende 150° und die der äußern Luft = 20° ist.

Berechnung des ersten Werthes von v.

T (n) = T; P = 0,00375 × 130 × 20 = 9,74 Meters;
v = 3,18 Metr.

Siebenundzwanzigstes Kapitel.

Bestimmung des geringsten Durchmessers einer Esse.

491. Die Bestimmung des geringsten Durchmessers einer Esse, wenn man ihre Höhe und die Menge des Brennmaterials, welches in einer gegebenen Zeit verzehrt werden muß, kennt, ist von großer Wichtigkeit; allein bei dem jetzigen Zustande der Analysis kann man zu keinem ganz scharfen Resultate gelangen, selbst wenn man annimmt, daß die gegebenen Formeln vollkommen genau seien [1]). Jedoch kann

---

Zweiter Werth von v.

$T(n) = 96$; $P = \frac{130+96}{2} \times 20 \times 0{,}00375 = 113 \times 20 \times 0{,}00375 = 8{,}475$, und $v' = 3{,}062$ Metr.

Dritter Werth von v.

$T(n) = 95$; $P = \frac{130+95}{2} \times 20 \times 0{,}0037 = 112 \times 20 \times 0{,}00375 = 8{,}40$, u. $v' = 3{,}05$ Metr.

Vierter Werth von v.

$T(n) = 95$ und folglich $v = 3{,}05$ Metr.

Bei dieser Methode ist die Annäherung stets geringer, als eine Einheit. Bleibt man daher bei dem dritten Werthe von v, so beträgt die Annäherung weniger, als ein Decimeter, und der vierte ist von dem wahren Werthe weniger als ein Centimeter verschieden.

Hat man für die mittlere anfängliche Temperatur eine zu kleine Zahl genommen, so würde man zunehmende Geschwindigkeiten erhalten haben, und diese würden zuletzt dieselben Werthe geben; nimmt man z. B. 50° als mittlere Temperatur an, so findet man nach und nach:

Mittlere Temperatur $= 50$; $v = 2{,}03$.
Mittlere Temperatur $= 106$; $v = 2{,}95$.
Mittlere Temperatur $= 112$; $v = 3{,}05$.

[1]) Bezeichnet man mit A die Menge der kalten Luft, welche in einer Minute herbeiströmen muß, um die gegebene Menge des Brennmaterials zu verzehren, so erhält man für Kamine von Thon folgende vier Formeln:

$$A\,(1 + 0{,}00375\,T(n)) = \frac{\pi\,D^2}{4}\,V;$$

$$\text{Log. } T(n) = \text{Log. } T - \frac{0{,}000061\,L}{D\,F\,V};$$

man stets eine für die Praxis hinreichende Annäherung erhalten, zu welchem Ende wir verschiedene Methoden angeben und mit der einfachsten anfangen.

492. Die unumgänglich nothwendigen Data sind die Höhe des Kamins, die Länge des Kanals, welcher die warme Luft durchströmt, die Menge des in einer gegebenen Zeit zu verzehrenden Brennmaterials, und endlich die Temperatur am untern Ende des Kamins.

Erste Methode.

1) Man fängt damit an, nach der Beschaffenheit und nach der Menge der in einer Secunde zu verzehrenden Brennmaterialien, das in derselben Zeit zu liefernde Volum kalter Luft zu bestimmen.

2) Man muß annäherungsweise die mittlere Temperatur der warmen Luft in dem Kamine nehmen.

3) Man muß den Verbrauch der warmen Luft berechnen, indem man die verbrauchte kalte Luft mit 1,00375 und mit der mittlern Temperatur multiplicirt.

4) Man muß eine Hypothese über den Werth des Durchmessers machen, man multiplicirt den Verbrauch der warmen Luft mit 4 und dividirt ihn mit $\frac{22}{7}$ und durch das Quadrat des angenommenen Durchmessers: das Resultat wird ein annähernder Werth der Geschwindigkeit sein.

5) Man muß die Geschwindigkeit mittelst der Formeln (406) berechnen, indem man denselben supponirten Werth des Durchmessers annimmt.

Sind die beiden, auf diese Weise berechneten Geschwindigkeiten einander gleich, so ist der angenommene Werth des

---

$$V = 8{,}85 \sqrt{\frac{P\ D}{L + 4\ D}};$$

$$P = 0{,}00375 \frac{(T + T(n))}{2} h.$$

Diese Gleichung kann man wegen der vier unbekannten Größen T (n), V, D und P nicht auflösen, und deren Werthe können folglich nur durch Annäherung gefunden werden.

Durchmessers genau; ist aber der erste Werth größer, als der zweite, so wird der Durchmesser zu klein, und wenn der zweite Werth größer, als der erste ist, so wird der angenommene Werth zu groß sein.

Alsdann verändert man den für die Geschwindigkeit angenommenen Werth, und beginnt die Rechnungen von neuem, bis daß die erhaltenen Geschwindigkeiten einander gleich, oder wenig von einander verschieden sind [1]).

Beispiel. Wir wollen annehmen, daß wir den Durchmesser eines Kamins zu einem Heerde zu bestimmen hätten, auf welchem in der Stunde 50 Kilogr. Steinkohlen verbrannt werden sollen. Die Höhe des Kamins beträgt 30 Metr.; der Rauch circulirt vor seinem Eintritte in den Kamin 10 Metr.; die mittlere Temperatur der warmen Luft in dem Kamin ist zu 200° angenommen, die der äußern Luft zu 20°.

Die in der Stunde nöthige kalte Luft ist

---

[1]) Nennt man A′ den Verbrauch an warmer Luft, und V die Geschwindigkeit, so ist offenbar:

$$A' = V\ D^2\ \frac{\pi}{4} \text{ u. } V = \frac{4\ A'}{\pi\ D^2} \text{ a.}$$

Wir haben vorher (407) gefunden:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{für thönerne Röhren } V = 8{,}85 & \sqrt{\frac{P\ D}{L + 4\ D}} \\ \text{für blecherne Röhren } V = 14 & \sqrt{\frac{P\ D}{D + 10\ D}} \\ \text{für gußeiserne Röhren } V = 19{,}80 & \sqrt{\frac{P\ D}{L + 20\ D}} \end{array}\right\} \text{(a).}$$

Man sieht offenbar, daß, wenn D zu groß, der aus der Gleichung (a) gezogene Werth von V zu klein, und umgekehrt der aus der Gleichung (b) deducirte Werth von V zu groß ist. Nimmt man daher für V einen gewissen Werth an, so wird man finden, daß er zu groß sei, wenn der aus der Gleichung (b) deducirte Werth V größer, als der aus der Gleichung (a) abgeleitete sein wird. Man findet dagegen, daß er zu klein sei, wenn der aus der Gleichung (a) abgeleitete Werth von V größer, als der aus der Gleichung (b) erhaltene sein wird. Wegen der Art und Weise, diese Formeln zu erhalten, siehe die Anmerkung am Ende des ersten Bandes.

= 50 × 20 M., = 1000 M., die in einer Se=
cunde erforderliche $\frac{1000}{3600}$ =.. ..... 0,28 Metr.

Der Verbrauch an warmer Luft = 0,28 Metr. (1 + 0,00375 × 200) =..... 0,49 Metr.

Nehmen wir nun den Durchmesser zu 0,5 Metr. an, so wird die durch die erstere Methode berechnete Geschwindigkeit gleich sein ..... 2,50 Metr.

Die durch die zweite Methode berechnete ...= 4,51 »
weshalb der Durchmesser zu groß ist. Neh=
men wir ihn zu 0,4 Metr. an.

Die nach der ersten Methode berechnete Ge=
schwindigkeit ist dann =..... 3,87 »

Die nach der zweiten Methode berechnete..... 4,07 »

Demnach ist der Durchmesser noch zu groß. Wir wollen ihn nun zu 0,35 Metr. annehmen.
Die auf die erste Methode berechnete Geschwindig=
keit ist dann =..... 5,16 »

Die auf die zweite berechnete =..... 3,80 »

Der Durchmesser von 0,35 Metr. ist daher zu klein.

Der wirkliche Durchmesser liegt demnach zwischen 0,40 und 0,35 Metr. Nimmt man ihn nun nach einander = 36, 37 ꝛc., so nähert man sich ihm, so viel man will.

Das Verfahren ist etwas weitläufig, allein es ist den=noch das einfachste von allen, weil es keine andere Berech=nungen, als das Ausziehen von Quadratwurzeln erfordert.

Zweite Methode.

1) Man bestimmt zuvörderst annäherungsweise die mittlere Temperatur der Luft in einem Kamine;

2) darauf das Volum der kalten Luft, welche es in der Secunde liefern muß. Multiplicirt man dann diese Größe mit 1,00375 × t, wobei t die mittlere Temperatur ist, so erhält man den Aufwand von warmer Luft für den Kamin.

3) Alsdann erhält man durch folgende Berechnung den gesuchten Durchmesser.

A. Für Kamine von gebranntem Thon nimmt man ei=

nen annähernden Werth des Durchmessers; man zieht die fünfte Wurzel aus dem Produkt des Quadrats des Aufwandes an warmer Luft, multiplicirt mit der Länge des Kanals, vermehrt um das Vierfache des angenommenen Durchmessers, und dividirt durch den die Geschwindigkeit erzeugenden Druck, und multiplicirt diese Wurzel mit 0,4602.

Man wiederholt diese Berechnung, indem man zum Durchmesser das Resultat der vorhergehenden Operation annimmt, und erhält einen nähern Werth des Durchmessers. Und wiederholt man diesen Calcul nochmals, so erhält man für den Durchmesser stets einen Werth, der annähernd genug für alle vorkommende Fälle sein kann.

B. Für blecherne Kamine macht man ebenfalls eine Annahme über den annähernden Werth des Durchmessers, und zieht die fünfte Wurzel aus dem Produkt des Quadrats des Aufwandes an warmer Luft, multiplicirt mit der Länge des Kanals, plus dem zehnfachen Durchmesser, und dividirt durch den die Geschwindigkeit erzeugenden Druck. Diese mit 0,3832 multiplicirte Wurzel giebt einen ersten gewöhnlichen Werth für den Durchmesser. Wiederholt man die Berechnungen ein- oder zweimal, indem man die von der vorhergehenden Operation erfolgende Zahl als Durchmesser annimmt, so gelangt man immer zu einem hinlänglich annähernden Werthe.

C. Für gußeiserne Kamine zieht man die fünfte Wurzel aus dem Produkte des Quadrats des Aufwandes an warmer Luft, multiplicirt mit der Länge des Kanals, vermehrt um den 20fachen supponirten Durchmesser, und dividirt durch den Druck, und multiplicirt die gefundene Wurzel mit 0,3296 [1]).

---

[1]) Die Formeln sind:

für thönerne Kamine, $D = 0{,}4602 \sqrt[5]{\frac{A'^2 (L + 4 D)}{P}}$;

für blecherne Kamine, $D = 0{,}3832 \sqrt[5]{\frac{A'^2 (L + 10 D)}{P}}$;

für gußeiserne Kamine, $D = 0{,}3296 \sqrt[5]{\frac{A'^2 (L + 20 D)}{P}}$.

Die Art, die Formeln zu finden, ist in der folgenden Anmerkung auseinandergesetzt.

Dieses Verfahren ist weit direkter, als das erstere, erfordert weniger Versuche, und hat das Unbequeme, daß dabei logarithmische Tafeln nöthig sind.

Dritte Methode.

493. Die beiden beschriebenen Methoden setzen voraus, daß man die mittlere Temperatur der warmen Luft in dem Kamine kenne, da diese aber wiederum von dem Durchmesser des Kamins und von der Geschwindigkeit der Luft abhängt, so kann man sie nur auf eine unbestimmte Art im Voraus kennen. Will man daher den Durchmesser eines Kamins berechnen, indem man bloß die Temperatur der warmen Luft bei ihrem Eintritte in den Kamin kennt, und indem man alle Ursachen der Abkühlung berücksichtigt, so wird folgendes das einfachste Verfahren sein.

494. Man berechnet zuvörderst die Menge der in einer Stunde zu verzehrenden Brennmaterialien, und dann die Menge der in einer Stunde und Secunde zu liefernden kalten Luft.

Darauf macht man eine Hypothese über die Temperatur der Luft am obern Ende des Kamins, so wie über die Geschwindigkeit.

Man leitet daraus das Volum der warmen Luft, welche in einer Secunde ausströmen muß, ab, indem man das Volum der kalten Luft durch $1 + 0{,}00375 \times t$ multiplicirt, wobei t die Temperatur am obern Ende ist.

Dividirt man das Volum der warmen Luft, welches durch die angenommene Geschwindigkeit ausströmen muß, so erhält man den Durchschnitt des Kamins, welcher zur Bestimmung des ersten genäherten Werthes des Durchmessers, den wir mit d bezeichnen, dient.

Man findet die Richtigkeit dieses Werthes von d, indem man die correspondirenden Geschwindigkeiten auf zweierlei Weise bezeichnet.

1) Mittelst des Werthes von d und der Geschwindigkeit

findet man durch die Formeln (484) den Werth der Temperatur am obern Ende des Kamins.

Diese Temperatur giebt einen neuen Aufwand von warmer Luft, und indem man denselben durch den, dem Durchmesser d correspondirenden Durchschnitt dividirt, erhält man die Geschwindigkeit.

2) Nimmt man die halbe Summe der Temperaturen am untern und obern Ende des Kamins, so erhält man die mittlere Temperatur, und wenn man davon die Temperatur der Luft abzieht, so erhält man den mittlern Ueberschuß der Temperatur. Alsdann berechnet man die Geschwindigkeit mittelst der Formeln (408).

Im Allgemeinen werden die auf beiderlei Weise bestimmten Geschwindigkeiten verschieden sein, woraus hervorgeht, daß der, dem Durchmesser gegebene Werth nicht genau ist. Um einen nähern zu erhalten, dividirt man den letztern Aufwand von warmer Luft durch die letztere Geschwindigkeit, und erhält einen Durchschnitt des Kamins, woraus man einen neuen Werth d′ des Durchmessers ableitet, dessen Richtigkeit man, wie den des erstern, findet, indem man die letztere Geschwindigkeit annimmt.

Sind die beiden Geschwindigkeiten, die man erhält, noch zu ungleich, so findet man auf dieselbe Weise den noch nähern Werth d″ u. s. w.

495. Wir wollen jetzt dieses Verfahren auf ein besonderes Beispiel anwenden.

Wir wollen annehmen, daß der Durchmesser eines Kamins von gebranntem Thon zu bestimmen wäre, dessen Heerd in der Stunde 20 Kilogr. Steinkohlen verbrennen soll. Die Höhe des Kamins beträgt 20 Metr., die Temperatur der warmen Luft am untern Theile des Kamins 150° und die der äußern Luft 20°.

Das in einer Stunde zu liefernde Volum kalter Luft ist $= 20 \times 20 =$ 400

und in einer Secunde $\frac{400}{3600} =$ 0,11

Nehmen wir nun an, daß die Temperatur am obern Ende des Kamins 100° betrage, und die Geschwindigkeit 3 Meter, so wird das aus dem Kamin strömende Volum warmer Luft = sein 0,11 (1 + 0,00375 × 100) =..... 0,1512;

der Durchschnitt des Kamins = $\frac{0,15}{3}$ =..... 0,05

und der Durchmesser = ... 0,25

1) Die vorhergehenden Werthe des Durchmessers und der Geschwindigkeit geben für die Temperatur am obern Ende, mittelst der Formeln (489) an ..... 109°

der Aufwand an warmer Luft ist = 0,11 (1 + 0,00375 × 109) =..... 0,155 Metr.

die Geschwindigkeit $\frac{0,155}{00,5}$ =..... 3,1 »

2) Die mittlere Temperatur = $\frac{109 + 150}{2}$ = 129°;

mittlerer Ueberschuß der Temperatur = 129 — 20 = 109°;

berechnete Geschwindigkeit (411) =..... 2,74 Metr.

Neuer genäherter Werth des Durchmessers:

der Durchschnitt = $\frac{0,155}{2,74}$ =..... 0,056 »

der neue Durchmesser..... 0,27 »

1) Die obigen Werthe des Durchmessers und der Geschwindigkeit geben für die obere Temperatur des Kamins..... 108°

der Aufwand an warmer Luft ist = 0,11 (1 + 0,00375 × 108) =..... 0,1541 M.

die Geschwindigkeit = $\frac{0,154}{0,056}$ =..... 2,75 »

2) Die mittlere Temperatur ist so wenig von der vorhergehenden verschieden, daß die durch die Formeln (411) berechnete Geschwindigkeit genau dieselbe ist, wie die obige, d. h. ..... 2,74 »

Da nun diese letztern Geschwindigkeiten nicht bemerkbar von einander verschieden sind, so sieht man, daß der gesuchte Durchmesser nur um ein Centimeter von 0,27 abweicht.

Dieses Verfahren ist sehr mühsam, jedoch habe ich es

nicht vereinfachen können [1]). Uebrigens giebt die erstere Methode in fast allen vorkommenden Fällen eine hinlängliche Annäherung.

496. Demnach kann man also nach dem Vorhergehenden stets für alle möglichen Fälle das Minimum des Durchmes-

---

[1]) Man kann auch das folgende Verfahren anwenden. Wenn A den Verbrauch an kalter und A′ den an warmer Luft bezeichnet, so erhält man für Kamine von gebranntem Thon:

$$A' = \frac{\pi}{4} D^2 V; \text{ (a)}$$

$$V = 8{,}85 \sqrt{\frac{P D}{L + 4 D}}; \text{ (b)}$$

schafft man nun V aus beiden Gleichungen weg, so erhält man:

$$D = \sqrt[5]{\frac{1}{(8{,}85)^2}} \left(\frac{\pi}{4}\right)^2 \sqrt[5]{\frac{A'^2 (L + 4 D)}{P}}; \text{ (c)}$$

nimmt man alsdann einen approximativen Werth für T (n), so berechnet man A′ durch die Formel

$$A' = A (1 + 0{,}00375 T (n); \text{ (d)}$$

und P durch die Formel

$$P = 0{,}00375 \left(\frac{T + T (n)}{2}\right) h; \text{ (e)}$$

nimmt man nun einen approximativen Werth für D, so wird die Gleichung (c) einen neuen, nähern Werth für D geben und die Gleichung (b) einen sehr nahen Werth für die Geschwindigkeit.

Hat man auf diese Weise einen approximativen Werth für D und V; so berechnet man T (n) mittelst der Formel

$$T (n) = T - \frac{0{,}000061 L}{D E V}. \text{ (f)}$$

Man deducirt einen neuen Werth für A′, P, D und V, und fährt damit fort, bis daß man auf denselben Werth von D zurückkommt. Die reducirte Gleichung (c), und die, welche blechernen und gußeisernen Kaminen correspondiren, sind

für thönerne Kamine $D = 0{,}4602 \sqrt[5]{\frac{A'^2 (L + 4 D)}{P}}$;

für blecherne Kamine $D = 0{,}3832 \sqrt[5]{\frac{A'^2 (L + 10 D)}{P}}$;

für gußeiserne Kamine $D = 0{,}3296 \sqrt[5]{\frac{A'^2 (L + 20 D)}{P}}$.

sers, welches man einem kreisrunden Kamine geben muß, um die verlangte Wirkung zu erhalten, bestimmen.

497. Muß dagegen das Kamin quadratisch sein, so sind ebenfalls noch dieselben Methoden und Formeln anzuwenden.

498. Die Kamine, deren Durchschnitt ein Oblongum ist, müssen ganz und gar ausgeschlossen werden, weil sie nie einen Vortheil gewähren, stets aber mehrere große Nachtheile haben.

Achtundzwanzigstes Kapitel.

Von den besten Vorrichtungen zur Vermehrung des Zuges der Essen.

499. Zwar würde das Minimum des Durchmessers, dessen Bestimmung wir zeigten, hinreichend sein; allein es ist immer vortheilhaft, den Essen einen größern Durchmesser zu geben und sie lieber unten, und selbst oben, enger zu machen, wodurch, bei gleicher Temperatur und Höhe, der Zug vergrößert wird.

500. In allen Hütten ist es stets sehr wichtig, einen starken Zug zu haben, um der Verbrennung eine größere Lebhaftigkeit zu geben, denn nur dann ist die Temperatur in den Oefen sehr hoch, eine unerläßliche Bedingung, wenn die Substanzen, welche der Einwirkung der Hitze unterworfen werden, in eine hohe Temperatur kommen sollen. Und dieses hat einer großen Nutzen, denn je höher die Temperatur des Ofens ist, je weniger Luft entgeht der Verbrennung; die langsamen Feuer sind immer unvortheilhaft.

501. Die Differenz zwischen den, mittelst eines sehr lebhaft und eines sehr langsam ziehenden Heerdes hervorgebrachten Wirkungen, ist so groß, daß man bei allen zur Hervorbringung des Dampfes bestimmten Apparaten die Bemerkung gemacht hat, daß die, bei denen der Rauch bei 5 bis 600° abzieht, dieselbe Menge des Brennmaterials eine weit größere

Dampfmenge hervorbrachte, als bei denen, wo die Luft schon bei 300° entwich. Jedoch scheinen diese letztern weit vortheilhafter sein zu müssen, weil die Luft bei einer weit geringern Temperatur abzieht; allein die Langsamkeit des Zuges vermindert die Temperatur in dem Heerde, eine beträchtliche Luftmenge entgeht der Verbrennug, kühlt die warme Luft ab, und giebt folglich auf ihrem Zuge weniger Wärme an die Körper ab, mit denen sie in Berührung kommt. In diesen Apparaten bringt derselbe Zug noch weniger Wirkung hervor, als wenn eine sehr geringe Luftmenge der Verbrennung entgeht, weil sie dazu angewendet wird, viel schädliche Luft abzuführen. Wir kommen später auf diesen wichtigen Gegenstand zurück, allein das Obige ist hinreichend, um zu zeigen, wie wichtig es sei, einen guten Zug zu haben.

502. Ein großes Uebermaaß an Zug hat noch andere Vorzüge von großer Wichtigkeit. Man kann dabei eine dickere Schicht Kohlen auf den Rost der Heerde bringen, wodurch die der Verbrennung entgehende Luftmenge vermindert wird, und man kann die Circulations-Kanäle der warmen Luft so verlängern, daß man eine weit größere Wärmemenge benutzen kann.

Uebrigens kann man, wenn es erforderlich ist, dem zu bedeutenden Zuge stets mittelst eines Ventils oder Schiebers, den man unter dem Kamine anbringt, abhelfen, indem man die Oeffnung vergrößert oder vermindert.

503. Der Zug, welcher der vorzüglichste Zweck ist, den man mit einem Kamine zu erlangen sucht, kann entweder durch Saugpumpen hervorgebracht werden, die auf irgend eine Weise in Bewegung gesetzt werden, oder auch nur durch die aufsteigende Kraft der warmen Luft. Wir betrachten nur diese letztere Art, welche am häufigsten angewendet wird; von ersterer wird bei den Ventilations-Apparaten geredet werden, und alsdann werden wir ihn mit dieser letztern in ökonomischer Hinsicht vergleichen.

Der Zug mittelst der warmen Luft hängt von drei Elementen ab:

1) von der Höhe des Kamins;

2) von seinem Durchmesser;

3) von der Temperatur der warmen Luft; denn die Geschwindigkeit der Strömung hängt von diesen drei Umständen ab.

504. Nach dem Obigen ist es klar, daß wenn eins oder zwei von diesen Elementen begränzt sind, man den verlangten Zug stets erhalten kann, indem man die beiden oder den einzigen noch übrigen, über die man verfügen kann, gehörig vermehrt.

Von diesen beiden Elementen des Zuges sind zwei, die nur Baukosten verursachen: es sind dies die Höhe und der Duchmesser; das dritte verzehrt fortwährend eine große Wärmemenge, und erfordert daher eine tägliche Ausgabe. Wir wollen zuvörderst untersuchen, welches die Wichtigkeit des durch die Kamine verursachten Wärmeverlusts sei.

Wärmeverlust durch die Kamine.

505. Die durch den Rauch weggeführte Wärme ist, wie wir sahen, nöthig, um den Zug zu bestimmen; allein nicht die ganze wird zur Hervorbringung dieser Wirkung benutzt, denn die warme Luft wird fortwährend durch die Wände des Kamins abgekühlt, und der durch diese Abkühlung veranlaßte Verlust an Geschwindigkeit ist bei thönernen und metallenen Kaminen sehr beträchtlich.

506. In allen Fällen ist die durch den Rauch abgeführte Wärme ein wirklicher Verlust, und es ist wichtig, zu wissen, was für ein Theil von der ganzen, durch die Verbrennung entwickelten, Hitze durch diese Ursach verloren gegangen ist.

507. Diese Berechnung hat durchaus keine Schwierigkeit. Nehmen wir die Steinkohle als Beispiel. Wir sahen, daß ein Kilogramm derselben von mittlerer Güte 6000 Wärmeeinheiten entwickeln konnte, d. h. daß die entwickelte Wärme 6000 Kilogr. Wasser um einen Grad, oder 1 Kilogr. auf 6000° Wärme erheben kann, und daß zu ihrer Verbrennung in gewöhnlichen Apparaten ohngefähr 20 Kubikmeters Luft erforderlich sind. Wir suchen nun zuvörderst die

Temperatur, welche die Verbrennung dieser 20 Kubikmetr. Luft geben kann, indem wir annehmen, daß diese Luft die ganze entwickelte Hitze wegführt. Oder, da wir wissen, daß die Luft eine viermal geringere Wärmecapacität, als das Wasser habe; so würde ein Kilogr. Steinkohle folglich 1 Kilogr. Luft zu einer Temperatur von $6000 \times 4 = 24000°$ erheben, wenn aber die Wärme von 20 Kubikmetr. Luft aufgenommen wird, deren Gewicht $20 \times 1{,}3 = 26$ Kilogr. beträgt, so ist es klar, daß die Temperatur dieser Luft $= \frac{24000}{26} = 923°$ betragen wird.

508. Wenn demnach die Luft bei 100° abzieht, so wird der Verlust $\frac{100}{923} = 0{,}1083$ von der ganzen Wärmemenge betragen. Man findet auf gleiche Weise den Wärmeverlust für die andern Temperaturen der Luft, so wie für die übrigen Brennmaterialien; allein für jedes derselben wird der Verlust bei gleichen Umständen derselbe sein, indem die entwickelten Wärmemengen fast proportional den absorbirten Sauerstoffmengen sind.

509. Die folgende Tabelle giebt den Wärmeverlust für verschiedene Temperaturen der Luft, bei ihrem Eintritt in den Kamin, so wie für verschiedene abfließende Luftmengen an; die Berechnungen sind für Steinkohlen gemacht worden, indem man 7,5 Metr. für die genau nothwendigen Luftmengen angenommen hat.

Tabelle über den Wärmeverlust in einem Kamine, die ganze Menge der durch die Verbrennung entwickelten Luft durch 1, und die Temperatur der Luft durch 0° bezeichnet.

Temperatur am untern Ende der Esse.	Verlorne Wärme. Wenn die Luft ganz verbrannt wird.	Wenn die Luft zur Hälfte verbrannt wird.	Wenn die Luft zum 3ten Theil verbrannt wird.	Wenn die Luft zum 4ten Theil verbrannt wird.	Wenn die Luft zum 5ten Theil verbrannt wird.	Wenn die Luft zum 6ten Theil verbrannt wird.
50	0,0203	0,0406	0,0609	0,0812	0,1015	0,1218
100	0,0406	0,0812	0,1219	0,1624	0,2030	0,2436
150	0,0609	0,1218	0,1828	0,2436	0,3045	0,3654
200	0,0812	0,1624	0,2438	0,3248	0,4060	0,4872
250	0,1015	0,2030	0,3047	0,4060	0,5075	0,6090
300	0,1218	0,2436	0,3656	0,4872	0,6090	0,7308
350	0,1421	0,2842	0,4265	0,5684	0,7105	0,8526
400	0,1624	0,3248	0,4876	0,6496	0,8120	0,9744
450	0,1827	0,3654	0,5485	0,7308	0,9135	»
500	0,2030	0,4070	0,6094	0,8120	»	»

Man ersieht aus dieser Tabelle, wie viel der Wärmeverlust mit der Temperatur der warmen Luft, bei ihrem Eintritt in den Kamin, so wie mit dem Verhältnisse der Luft, welche, ohne zur Verbrennung genutzt zu haben, entweicht, zunimmt.

510. Die vorstehende Tabelle giebt eine sehr einfache Erklärung von einer allgemein bekannten Thatsache. Ein Kilogr. Steinkohlen, welches 6000 Wärmeeinheiten entwickeln kann, würde fähig sein, $\frac{6000}{650} = 9{,}23$ Wasser bei 0° zu verdampfen. In den besten Apparaten erhält man dagegen kaum mittelst eines Kilogr. Steinkohlen 6 Kilogr. Wasserdämpfe. Man hat die Ursach dieser Differenz in der Construction der Oefen gesucht, während sie einzig und allein nur in der hohen Temperatur der Luft in den Essen liegt. Wirklich beträgt, nach meiner eigenen, und nach den in dem Bulletin de la société industrielle de Mulhausen, aufgezeichneten Beobachtungen, die mittlere Temperatur der Luft in der Esse mindestens 400°; und da die Menge der verbrannten

Luft höchstens die Hälfte von der, welche in den Heerd eindringt, beträgt, so folgt aus der vorhergehenden Tabelle, daß die verlorne Hitze 0,3248 oder fast $\frac{1}{3}$ von der ganzen entwickelten Hitze betrage, und daß folglich diese Apparate, mittelst eines Kilogr. Steinkohlen, nicht über $\frac{2}{3} \times 9{,}23 = 6{,}152$ Dämpfe zu liefern im Stande sind. Nun giebt es zwar Apparate, welche die warme Luft nur in einer niedrigern Temperatur entwickeln, allein dann ist der Zug schwach, die Verbrennung langsam, und eine beträchtliche Luftmenge geht unverändert durch den Heerd; dieser unnöthig erhitzten Luft ist ein großer Theil des Wärmeverlustes zuzuschreiben.

511. Aus dem Vorhergehenden geht offenbar hervor, daß der ungeheure Verlust an Wärme, und folglich auch an Brennmaterial, in den zu so mannigfachem Gebrauch benutzten Apparaten fast nur von der hohen Temperatur herrühren, welche die Luft in den Essen hat, so wie auch von der mehr oder weniger bedeutenden Luftmenge, welche das Brennmaterial unbenutzt durchstreicht. Man kann diese Verluste nur durch einen überwiegenden Zug, den man unabhängig von einer hohen Temperatur der Luft in der Esse erhält, vermeiden.

Nach dem Obigen giebt es dennoch zwei Elemente des Zuges, die unabhängig von der Temperatur sind, nämlich die Höhe und den Durchmesser. Es hat nie Unbequemlichkeit, sondern stets einen Vortheil, den Kaminen oder Essen eine möglichst bedeutende Höhe zu geben; ist es aber dasselbe mit dem Durchmesser? Dies wollen wir jetzt untersuchen.

512. Vergrößert man den Durchmesser einer Esse, und es bleibt die untere Oeffnung dieselbe, und die obere frei, so nimmt, wie wir sahen, die Geschwindigkeit an der untern Oeffnung, in dem umgekehrten Verhältnisse des Durchmessers der Oeffnung, zu. Zu gleicher Zeit wird aber auch die Geschwindigkeit der warmen Luft in dem Kamin vermindert, obgleich der Aufwand an Luft zunimmt; und wenn eine solche Verminderung zu beträchtlich ist, so überläßt sie den Winden zu viel Gewalt; auch kann sie doppelte Strömungen herbeiführen, die dem Zuge schaden würden. Ich habe keine Gele-

genheit gehabt, Versuche über das Maximum des den Essen, für einen gegebenen Aufwand an Brennmaterial, zu gebenden Durchmessers zu machen, allein man wird leicht einsehen, daß dieses Maximum von einer großen Menge lokaler Umstände, wohin die Gewalt der Winde, die Lage des Etablissements ꝛc. gehören, abhängen muß.

513. Um aber den obern Theil mit einem Apparate zu versehen, der das Zurückströmen des Rauchs durch den Einfluß des Windes verhindert, würde es gefährlich sein, den Essen solche Dimensionen zu geben, daß die Geschwindigkeit wenigstens 2 bis 3 Meters in der Secunde betrüge.

In dem Obigen setzt man voraus, daß die obere Oeffnung ganz offen bleibe, allein man kann sie stets auf solche Weise zusammenziehen, daß die abziehende Luft eine hinlängliche Geschwindigkeit erhält, und man behält dann eine große Menge von den Vortheilen, welche weite Kamine haben.

514. Wir müssen jedoch bemerken, daß die Kamine, indem sie sich erweitern, auch mehr Oberfläche erhalten, und folglich eine weit größere Abkühlung der warmen Luft veranlassen; allein wenn die Kamine einen sehr großen Durchmesser haben, so kann man mehrere Mittel anwenden, um den Wärmeverlust sehr zu vermindern; 1) eine äußere Bekleidung von grobem Mauerwerke; 2) eine Zwischenschicht von schlecht leitenden Substanzen, von Kohle, Luft ꝛc.

515. So können wir demnach als Grundsatz annehmen, daß es stets vortheilhaft sei, zur Erhaltung eines guten Zuges, den Essen den größtmöglichen Durchmesser zu geben, wobei jedoch vorausgesetzt werden muß, daß sie eine hinlängliche Stärke besitzen, um die Abkühlung der Luft möglichst zu verhindern, und daß man die obere Oeffnung so verkleinere, daß die in die Atmosphäre ausströmende warme Luft eine hinlängliche Geschwindigkeit behält.

Neunundzwanzigstes Kapitel.

Construction der Kamine oder Essen.

Da alle Dimensionen der Essen durch die vorhergehenden Betrachtungen bestimmt worden sind, so bleiben uns nur die Beschaffenheit der Materialien, die Stärken und die besten Einrichtungen zu untersuchen übrig. Dies soll jetzt geschehen, und wir werden dann diese Betrachtungen auf die Essen in den Hütten und auf die Kamine in den Wohngebäuden anwenden.

§. 1. Beschaffenheit der Materialien, Dicke und Gestalten.

516. Wir wollen zuvörderst untersuchen, welches die vortheilhafteste Stärke und Beschaffenheit der zur Construction der Essen anzuwendenden Materialien sei. Es ist klar, daß, da bei einer und derselben Substanz die Abkühlung mit der Stärke abnimmt, es stets vortheilhaft sein wird, eine bedeutende Stärke anzuwenden.

Wenn die Materialien verschieden sind, so scheint es auf den ersten Blick, daß denen, welche die schlechtesten Leiter sind, der Vorzug gegeben werden müsse; allein es kommt auch ein anderes Element dabei in Betracht, nämlich der Widerstand, den sie der Bewegung der Luft entgegensetzen; und da das geschmiedete und das Stabeisen, welche sehr gute Wärmeleiter sind, zu gleicher Zeit die Eigenschaft besitzen, sich der Bewegung der Luft weniger zu widersetzen, so wird man einsehen, daß sich unter gewissen Umständen diese Wirkungen gegenseitig aufheben oder entgegengesetzte Resultate von denen geben können, welche erfolgen, wenn man die Leitungsfähigkeit allein berücksichtigt.

517. Um die obige Frage beantworten zu können, betrachten wir vier cylinderförmige Essen, von gleichem Durchmesser, gleicher Höhe und gleicher Temperatur am untern Ende, von denen die erste aus Ziegelsteinen von 10 Centimeter Stärke, die zweite aus Thon von 1 Centimeter, die dritte aus

Blech von ½ Millimeter, und die letzte aus Gußeisen von 1 Centimeter Stärke bestehen. Die Geschwindigkeit der Luft in den Essen wird berechnet. Es ist klar, daß die vortheilhaftesten diejenigen sein werden, welche die meiste Geschwindigkeit geben.

518. Wir wollen nun annehmen, daß die Höhe 20 Metr., der innere Durchmesser 0,3 Metr., die Temperatur am untern Ende 150° und die Temperatur der Luft 20° betragen. Wendet man nun die Formeln (390) an, so erhält man:

Für Essen von Ziegelsteinen.

Temperatur an der Mündung.....148°
Geschwindigkeit.....3,27 Metr.

Für Essen von gebranntem Thon.

Temperatur an der Mündung.....115°
Geschwindigkeit.....3,05 Metr.

Für Essen von Blech.

Temperatur an der Mündung.....101°
Geschwindigkeit.....4,48 Metr.

Für Essen von Gußeisen.

Temperatur an der Mündung..... 87°
Geschwindigkeit.....5,47 Metr.

519. Man ersieht daraus, daß hinsichtlich des Zuges die vortheilhaftesten Essen die gußeisernen, dann die blechernen, darauf die von Ziegelsteinen, und die schlechtesten die thönernen sind.

520. Es ist klar, daß die besten von allen Essen die, mit Ziegelsteinen oder mit einer jeden andern schlecht leitenden Materie umgebenen, gußeisernen sein werden.

521. Jedoch können die gußeisernen Essen nur bei Apparaten von geringen Dimensionen angewendet werden, wenn man sie an die Mauer der Werkstatt legen kann, denn wenn sie isolirt stehen sollen, so müssen sie eine zu bedeutende Stärke haben, und sind dann zu kostbar. Die blechernen Essen sind weit leichter und weniger theuer; allein sie haben den Nachtheil, daß sie sich zu leicht oxydiren. Bei großen Apparaten muß man daher die Essen von Ziegelsteinen construiren.

522. Neuerlich hat man auch isolirte Essen von Kupfer angewendet. Meines Erachtens sind sie, hinsichtlich des Zu-

ges, wenigstens eben so vortheilhaft als die blechernen Kamine; und da sie sich in der Luft weit weniger oxydiren, so ist es sehr wahrscheinlich, daß sie weit vortheilhafter als die Essen von Ziegelsteinen sind. Bei ihrem Gebrauche wird aber nothwendig vorausgesetzt, daß die warme Luft bei ihrem Eintritte in den Kamin einen unter der schwachen Rothglühhitze stehenden Temperaturgrad habe, weil sich in jener das Kupfer schnell oxydirt.

523. Gestalt des Durchschnittes der Essen. Alle meine Versuche sind mit cylinderförmigen Kaminen angestellt worden, und alle die obigen Berechnungen sind daher nur auf solche anwendbar. Jedoch kann man dem innern Durchschnitt jede andere Gestalt geben, aber keine ist so günstig als diese, weil sie diejenige ist, die, bei gleicher Oberfläche, das meiste Volum enthält. Es folgt daraus: 1) daß die Reibung geringer sei, da sie proportional der Ausdehnung der Oberfläche ist; 2) daß die Kosten geringer seien, indem, bei der Construction eines Kamins, es die Oberfläche allein ist, welche die Kosten verursacht. Daher sind, unter allen möglichen Formen, die Kamine mit kreisrundem Durchschnitte die allen übrigen vorzuziehenden.

524. Im Allgemeinen sind unter allen möglichen Durchschnittsgestalten die, welche sich dem Kreise am meisten nähern, die vortheilhaftesten. Unter allen vielseitigen Formen, die eine gleiche Anzahl von Seiten haben, sind die regelmäßigen, d. h. die, deren Seiten und Winkel unter einander gleich sind, vorzuziehen.

525. Die Durchschnitte, welche nur eine geringe Anzahl von Seiten haben, oder die verlängert sind, haben außerdem die große Unbequemlichkeit, daß, bei schwachem Zuge, leicht doppelte Strömungen entstehen.

526. Wir wollen jetzt untersuchen, welches die vortheilhafteste Gestalt hinsichtlich der verschiedenen Durchschnitte eines und desselben Kamins sein kann. Muß man sie cylindrisch oder conisch machen? Muß in diesem letztern Falle

die größte Oeffnung oben oder unten befindlich sein, oder muß man ihnen eine ganz andere Gestalt geben?

527. Um alle diese Fragen zu beantworten, müssen wir zuvörderst bemerken, daß es nie zweckmäßig ist, nach und nach mehrere Male in umgekehrter Richtung die Durchmesser einer Esse zu verändern, und so wird man immer anstehen, die in Fig. 77, 78, 79, 80, 81 dargestellten Formen zu wählen.

528. Wir müssen uns jetzt erinnern, daß die Reibung im Verhältnisse zu der Geschwindigkeit und im umgekehrten Verhältnisse des Durchmessers von dem Durchschnitte stehet. Demnach wird man also einsehen, daß, wenn die Kamine 77, 79 und 81 gleich große Mündungen haben, die drei letztern vortheilhafter als die erstern sein werden, und dies um so mehr, als die Durchmesser unter der Oeffnung größer sein werden, und daß diese Zunahme auf eine größere Ausdehnung stattfindet. Es kommt dann die Erscheinung vor, von welcher die Rede bei den Schiebern am obern Ende der Essen war. Der an der Mündung stattfindende Druck ist ein weit größerer Bruch von dem, welcher unten vorhanden ist, und folglich ist die Abzugsgeschwindigkeit wirklich weit größer als in Fig. 77. Die Formen 78 und 80 sind nie angewendet, die Formen 77, 79 und 81 dagegen recht oft.

529. Die Gestalt (Fig. 78) würde offenbar vortheilhaft sein; dies kann man leicht aus dem (424), hinsichtlich der Schieber am untern Theile der Essen Bemerkten, deduciren; allein ihre Construction würde zu viel Kosten verursachen. Uebrigens würde ein cylindrischer Kamin, von einem der Mündung gleichen Durchmesser, noch weit vortheilhafter und von einer weit leichter und minder kostbaren Construction sein; auch sie ist nicht im Gebrauch.

530. Die passendste Gestalt für den Zug endlich, und die leichteste, hinsichtlich der Construction, ist die conische (Fig. 79), wobei man dem äußern Durchmesser, hinsichtlich der Eingangs- und Abzugs-Oeffnung, passende Größen giebt. Diese Gestalt ist auch die, welche am meisten angewendet wird.

531. In Hinsicht auf die größte Abzugsgeschwindigkeit

durch eine und dieselbe Mündung, ist es klar, daß die vortheilhaftesten Essen auch noch die weitesten, oben durch eine bestimmte Oeffnung geschlossenen sind (Fig. 82), und bei gleichen Oeffnungen geschieht der Abzug rascher, wenn sie kurz und cylindrisch (Fig. 83), als wenn sie an den Seitenwänden befindlich sind. Und noch rascher geht er vor sich, wenn die Oeffnung trichterförmig ist (Fig. 84). In diesen drei Fällen verhält sich die Geschwindigkeit des Abzugs wie 63, 93 und 95 (454).

532. Richtung der Essen. Es bleibt uns nun noch von der Richtung der Essen zu reden übrig. Ihre beste Lage ist offenbar die senkrechte. Sind sie gewunden, oder auch nur geneigt, so hängt der die Bewegung bedingende Druck, wie schon bemerkt worden ist, lediglich von der Differenz der Höhe der beiden Enden ab; allein der Wärmeverlust und die Reibung haben auf der ganzen Länge statt.

533. Gemeinschaftliche Essen. Sind in einer Hütte mehrere Oefen vorhanden, so ist es immer sehr vortheilhaft, ihnen eine gemeinschaftliche Esse zu geben, denn: 1) ist dies wohlfeiler, weil die Kosten eines Kamins, an Materialien und Arbeitslohn, nur in einem weit kleinern Verhältnisse, als sein Querschnitt, sich vermehren; denn nur die Oberfläche verursacht Kosten, und diese letztere wächst nur nach der Quadratwurzel des Durchschnittes, so daß eine Esse von vierfach größerm Inhalt nur das Doppelte kosten würde; 2) die Abkühlung des Rauchs ist geringer, weil die Oberfläche des Kamins geringer als die Summe derer ist, welche es ersetzt; 3) die Unregelmäßigkeiten, welche der Zug eines jeden Ofens hat, gleichen sich gegenseitig aus, und jeder Zug wird weit gleichförmiger; 4) da die Esse mehr Fläche an der Basis bei gleicher Stärke hat, so kann sie zu einer bedeutenden Höhe geführt werden.

534. Alsdann müssen aber auch die horizontalen oder schwach geneigten Kanäle (auch Füchse genannt), welche den Rauch von den Oefen zu den Essen führen, eine hinlängliche Stärke haben, so daß der Wärmeverlust auf diesem Wege

nicht beträchtlich sei und der Rauch mit einer hinlänglichen Temperatur in die Esse gelange. Endlich muß auch die gemeinschaftliche Esse einen wenigstens eben so großen Durchschnitt haben, als die Summe der in sie auslaufenden Kanäle beträgt.

535. In mehrern Fabriken habe ich gemeinschaftliche Kamine gesehen, die im Innern durch Scheider abgetheilt waren, so daß der Rauch eines jeden Ofens einen besondern Kanal hatte. Es ist klar, daß eine solche Einrichtung nur an einander angelehnte Essen zeigt, die vor den abgesondert stehenden keinen andern Vorzug haben, als daß dadurch etwas an Materialien erspart wird.

In England findet man die gemeinschaftlichen Kamine in sehr vielen Hütten.

Wir wollen nun nach einander die Construction der freistehenden und der Essen in den Wohngebäuden untersuchen.

§. 2. Freistehende Essen.

536. Die freistehenden Essen müssen eine große Höhe haben, weil sie alsdann nicht allein den Vortheil haben, einen großen Zug hervorzubringen, sondern auch den Rauch zu einer bedeutenden Höhe zu führen, und folglich der Nachbarschaft weniger unbequem zu sein. In England sind sehr hohe Essen gewöhnlich, und sie fangen auch in Deutschland und Frankreich an, häufiger zu werden.

537. Construction der aus Ziegelsteinen bestehenden, freistehenden Essen. Die meisten freistehenden Kamine, die man construirt, sind quadratisch, allein diese Form ist, wie wir schon weiter oben zeigten, sehr mangelhaft. Man muß ihnen stets, wenigstens wenn nicht die Umstände das Gegentheil gebieten, einen kreisförmigen Durchschnitt geben. Nun muß man freilich dazu besonders angefertigte Ziegelsteine und von den passenden Durchmessern haben, die man nicht überall bekommen kann; allein in diesem Falle ist es noch sehr vortheilhaft, den Essen eine polygonale Gestalt von 6 oder

8 Seiten zu geben. Die Construction derselben hat durchaus keine Schwierigkeiten.

538. Damit die isolirt stehenden Kamine dem Einfluß der Winde leichter widerstehen können, müssen sie eine pyramidale Gestalt haben. Es würde sehr schwer sein, die Abnahme des äußern Durchmessers bei zunehmender Erhebung durch den Calcul zu bestimmen; es ist weit besser, in dieser Hinsicht sich auf die Dimensionen zu beziehen, die durch die Erfahrung als gut anerkannt worden sind.

539. Bei den freistehenden Essen, die ich zu sehen Gelegenheit gehabt habe, betrug die Abnahme der äußern Stärke bei 10 Meters ungefähr 0,3 Metr., oder auf 1 Metr. 0,03 Metr., und die Abnahme des innern Radius nur 0,026 Metr. auf 1 Meter. Ich habe aber auch einige gesehen, bei denen die Abnahme der Stärke weit beträchtlicher war, allein diese Zunahme der Kosten scheint mir unnütz zu sein, wenn man gute Materialien hat.

540. Um daher das innere Profil eines Kamins zu zeichnen, beginnt man damit, den innern Kanal A B C D (Fig. 85) vorzureißen, darauf nimmt man auf jeder Seite der Basis die Entfernungen A m und B n, die gleich 0,013 Metr. mal der Meteranzahl der Höhe der Esse ist, wodurch das innere Profil bestimmt wird. Um das äußere Profil zu erhalten, nimmt man auf jeder Seite von C und D zwei Punkte p und r, deren Entfernung von jenen gleich der Breite eines Ziegel- oder Brandsteins ist, und auf jeder Seite der Punkte m und n, nimmt man zuvörderst die Breite eines Ziegelsteins und dazu die Höhe der Esse in Meters mal 0,03 Meter. Die Verbindung der Punkte p, q und r, s bildet das äußere Profil.

541. Die äußere Oberfläche ist zuweilen dem verzeichneten Profil ähnlich, und besteht aus einer einzigen kegelförmigen Oberfläche (Fig. 86); ein andermal besteht sie aus mehrern abnehmenden cylinderförmigen Oberflächen (Fig. 87). Diese Einrichtungen scheinen mir ganz willkührlich zu sein; nur bei der letztern müssen die Stufen zahlreich sein, und jeder

Absatz muß in einer etwas geneigten Fläche ablaufen, damit die Regenwasser nicht stehen bleiben und in die Esse eindringen [1]).

542. Die Gestalt der innern Oberfläche ist eben so verschieden, wie die der äußern. Zuweilen besteht sie aus einer einzigen conischen Oberfläche (Fig. 86), ein anderes Mal aus einer Reihe von cylindrischen oder conischen Oberflächen (Fig. 88 u. 89). Diese letztere Einrichtung ist für die Construction sehr bequem.

543. Die fortwährenden Veränderungen des äußern und innern Durchmessers erfordern auch correspondirende Veränderungen in den Dimensionen der Ziegelsteine. Kann man sich solche aber nicht verschaffen, so muß man das Zusammenziehen durch Einsprünge bewerkstelligen.

544. Die Beschaffenheit der, bei einem Kamine anzuwendenden, Ziegelsteine ist offenbar nach der Temperatur, welche die Luft in demselben haben muß, verschieden. Muß sie sehr hoch sein, wie bei den Essen der zur Schmelzung der Metalle bestimmten Flammöfen, so müssen die Ziegel sehr feuerbeständig sein. Uebersteigt aber die Temperatur nicht 4 bis 500°, so kann man gewöhnliche Ziegelsteine gebrauchen, vorausgesetzt, daß sie in dieser Hitze nicht zerspringen, oder sich nicht in dem Regen verändern.

545. Die Beschaffenheit der Materie, mittelst welcher die Ziegelsteine mit einander verbunden werden, ist ebenfalls nach den Umständen verschieden.

Diese Materie besteht entweder aus ungebrannter Ziegelerde, aus Mörtel oder Gips, oder endlich aus einem Gemenge von zweien oder von allen diesen Substanzen.

546. Muß die Temperatur sehr hoch sein, so kann nur ungebrannter Ziegelthon angewendet werden, denn der Gips würde verändert werden und der Mörtel keine große Con-

---

1) Hin und wieder bringt man auf den Absätzen eiserne Platten (Regenplatten) an, die nicht allein zur Verankerung der Esse, sondern auch dazu dienen, den Regen und Schnee von der Mauer abzuhalten. H.

sistenz annehmen, und selbst gar keine, wenn er aus kalkigem Sand bestände. In diesem Falle wird der Ziegelthon dagegen gebrannt, nimmt eine große Härte an und bildet eine sehr feste Verbindung.

547. Der mit kieseligem Sande gemachte Mörtel kann angewendet werden, wenn die Temperatur 4 bis 500° erreicht; man kann ihn dann auch mit einer gewissen Quantität Ziegelthon vermengen.

548. Der Gips kann nur dann angewendet werden, wenn die Temperatur nicht höher als 150 bis 200° ist.

549. Wird ungebrannter Ziegelthon zum Aufmauern der Kamine, die nur eine geringe Hitze auszuhalten brauchen, angewendet, so giebt er nur eine geringe Verbindung.

550. Bei großen, freistehenden Essen würde es, meines Erachtens, vortheilhaft sein, zur innern Bekleidung Ziegelthon, und zur äußern Bekleidung kieseligen oder kalkigen Mörtel anzuwenden.

551. Die großen, freistehenden Kamine können ohne ein äußeres Gerüst aufgebauet werden, indem sich der Arbeiter nach und nach auf einem im Innern der Esse angebrachten Gerüst erhebt. Die Vorsprünge in der Esse (Fig. 89) können zu demselben Zweck dienen [1]).

552. Wenn die Temperatur der Luft sehr hoch sein muß, so ist es nöthig, die Wände der Essen mit starken Eisen-Verankerungen zu versehen (Fig. 90). Man wird leicht einsehen, daß die Einrichtung dieser Anker weit einfacher ist, und daß sie am stärksten sind, wenn die Essen eine cylinderförmige Gestalt haben.

Gewöhnlich wechseln die Höhen der freistehenden Kamine von 15 bis 35 Meters (45 bis 110 Fuß).

---

[1]) Ein in dieser Arbeit geübter englischer Maurer kann, mit Hülfe eines Knaben, der ihm Steine und Mörtel zureicht, ohne ein äußeres Gerüst, in 14 Tagen ein rechteckiges, pyramidales Kamin aufführen, welches 40 Fuß Höhe, an der Basis 5 Fuß 8 Zoll äußere und 2 Fuß 8 Zoll innere, so wie an der Mündung 28 Zoll äußere und 20 Zoll innere Weite hat. (Dictionnaire technologique, tom. 5. p. 156.)

553. Die Herren Muir und Brown in Glasgow haben eine Esse von 108 Fuß (33 Metr.) Höhe. Die innere Weite beträgt drei Fuß im Quadrat, und sie nimmt den Rauch mehrerer Oefen auf. In der Fabrik von Robert Mutric in Manchester erhebt sich eine Esse 36,5 Metr. über den Grund; an der Basis beträgt der innere Durchmesser 1,1 Meter und 0,93 Meter an der Mündung. Die Fig. 91 giebt einen Durchschnitt davon.

Die Abnahme des innern Durchmessers beträgt bei dieser Construction (Fig. 91) von 3,10 bis 0,93 Meter, welches auf die senkrechte Höhe von 36,5 Meter $\frac{3{,}10 \text{ Metr.} - 0{,}93 \text{ Metr.}}{2}$ $= \frac{2{,}17}{2}$ Metr. $=$ 1,085 Metr., und folglich für 1 Meter 0,029 Metr. beträgt.

Die Abnahme der Stärke der Mauern beträgt auf 36,5 Metr. 0,60 — 0,24 $=$ 0,36 Metr., oder auf das laufende Meter $\frac{0{,}36}{36{,}50}$ oder fast 0,01 Metr.; diese Zahl ist kleiner als die von uns angenommene.

554. In Schottland erbauete man ehedem in den Destillations-Anstalten Essen, die aus einer doppelten Mauer bestanden; das innere Futter bestand aus feuerbeständigen und die äußere Mauer aus gewöhnlichen Ziegelsteinen. Der Zwischenraum zwischen beiden war von allen Seiten geschlossen und nur oben offen. Er diente dazu, die Abkühlung des Rauches zu verhindern, und trug daher zur Vermehrung des Zuges bei. Die Fig. 92 stellt einen Durchschnitt von dieser Einrichtung vor. Folgendes sind die Dimensionen von einer dieser Essen.

Höhe $=$	18,28	Metr.
Innerer cylinderförmiger Kanal; Durchmesser.....	0,60	»
Stärke des innern Futters; oben und unten.....	0,22	»
Aeußere Mauern; untere Stärke.....	0,45	»
Zwischenraum zwischen den beiden Mauern; oben und unten.....	0,07	»
Stärke der äußern Mauern an der Mündung.....	0,17	» [1])

[1]) Ueber die Construction der Essen bei Flammöfen findet man treff-

§. 3. Kamine der Wohngebäude.

555. Die Dimensionen der Essen sind (in Frankreich) durch zwei Verordnungen vom Jahre 1712 und 1723 bestimmt. Sie waren im Innern oder Lichten für die Zimmer 3 Fuß breit und 10 Zoll tief, und für die Küchen großer Häuser 4½ bis 5 Fuß breit und 10 Zoll tief. Sie mußten aus Ziegelsteinen bestehen, und von Distanz zu Distanz Eisen haben.

556. Diese ungewöhnlichen Dimensionen hatten große Nachtheile, denn abgesehen von dem unnützen Platze, den die Esse einnahm, war der große Durchschnitt des Kanals, so wie seine abgeplattete Gestalt sehr günstig zur Erzeugung von Rauch. Seitdem hat man diesem Fehler dadurch abzuhelfen gesucht, daß man die Kamine an beiden Enden, oder an irgend einer Stelle ihrer Länge, durch Zuglöcher zusammenzog, welches dieselbe Wirkung hervorbrachte, als eine Verminderung des Durchmessers auf der ganzen Länge der Essen. Auch bestanden die meisten Essen aus Gips, so daß also jene, jetzt nun ganz in Vergessenheit gerathenen, Polizei-Verordnungen eigentlich gar nicht befolgt worden sind.

Wenn eine Esse sehr weit und nur am untern Ende zusammengezogen ist, so sind die Umstände für einen starken Zug sehr günstig, und eben so, wenn sie nur an der Mündung verengt ist; und in diesem letztern Falle rauchen sie bei weitem weniger. Mit den Essen für Zimmer ist es aber nicht so, wie mit den für Hütten. Ein starker Zug ist bei jenen nicht nöthig, sondern sogar oft schädlich, indem er eine zu bedeutende Ventilation in dem Zimmer hervorbringt, und die Verzehrung des Brennmaterials zu sehr beschleunigt.

557. Wenn man die Dimensionen der Ofenröhren mit denen der Kaminröhren vergleicht, und bemerkt, daß man in den großen Oefen oft weit mehr Brennmaterial verbrennt,

---

liche Notizen in Karsten's Eisenhüttenkunde, Thl. III. §. 966, Thl. IV. §. 1232. H.

als in den Kaminen, so ist man erstaunt, daß man zwischen ihnen so lange Zeit hindurch ein so großes Mißverhältniß hat stattfinden lassen. Nun müssen freilich bei gleichen Mengen von Brennmaterial und bei gleichen Zeiten, in denen dieselben verbrannt werden sollen, die Kaminröhren weit größer sein als die Ofenröhren, weil die Kamine durch die Einrichtung der Heerde ein großes Volum Luft herbeiführen, welche die Verbrennung nicht unterhält; allein wenn man auch diesen Umstand berücksichtigt, so ist das Mißverhältniß dennoch groß. Die einmal angenommene Gewohnheit, die Essen durch Menschen kehren zu lassen, die sie auf ihrer ganzen Länge durchkriechen müssen, ist wahrscheinlich die Ursach, weshalb die Essen so unnütze Dimensionen beibehalten haben; da man aber zur Reinigung der Essen leicht weit einfachere Mittel anwenden kann, so ist es, wie wir weiter unten näher darthun werden, besser, den Essen nur solche Dimensionen zu geben, die zur Entwickelung des Rauchs und zur Ventilation gerade hinreichend sind. Die cylinderförmige Gestalt ist stets allen übrigen vorzuziehen, da der Widerstand auf der ganzen innern Oberfläche gleichförmig ist, die doppelten Luftströme in ihnen bei weitem weniger leicht stattfinden, als in den quadratischen, und vor allem in den Röhren, deren Breite bei weitem größer als die Tiefe, weil, da der Widerstand in den Winkeln weit größer ist, die niedergehenden Ströme sich leichter bilden können. Man hat durch die Erfahrung gefunden, daß für den Kamin oder den Ofen eines Zimmers eine cylinderförmige Röhre von 15 bis 20 Centimeter, oder von jeder andern Gestalt von 3 Decimeter Oberfläche, fast immer hinlänglich ist.

558. Der Gips ist von allen Materialien, die man zur Construction der Essen anwenden kann, vielleicht dasjenige, welches die größten Nachtheile gewährt, und dies um so mehr, wenn man die Wände zu dünn macht, und wenn man unvorsichtiger Weise die Balken des Gebäudes zu sehr in die Nähe bringt. Der Gips wird von dem Wasser, welches der Rauch herbeiführt und welches aus der Atmosphäre niederfällt,

angegriffen, die Wärme verursacht bei ihm einen Anfang von Calcination, welche unmerklich den Zusammenhang seiner Theile trennt, und die Ungleichheit der Temperatur veranlaßt oft Spalten, durch welche dann der Rauch entweicht.

Man gebraucht den Gips zur Construction der Kamine nicht allein, weil sie weniger kosten, als die von Ziegelsteinen aufgeführten, sondern weil ihre Schleifung leichter und ohne Anwendung von eiserner Verankerung ausgeführt werden kann.

Der Gips muß zur Construction der Essen ganz verboten werden, oder wenigstens darf er nur zur Verbindung der festern Materialien angewendet werden. Weit besser sind die Lehmsteine oder Lehmbatzen zur Aufführung der Essen.

559. Die zur Leitung des Rauchs angewendeten gußeisernen Röhren haben auch große Unbequemlichkeiten, wenn sie von Mauerwerk umgeben sind, indem durch Veränderung der Temperatur eine Ausdehnung und Zusammenziehung stattfindet. Man kann sie nur zu freistehenden oder an Mauern angelegten Kaminen mit Nutzen anwenden.

560. Die Essen von gebranntem Thon haben im Allgemeinen eine zu geringe Stärke und sind zu zerbrechlich, und können nur zu den äußern Leitungsröhren mit Nutzen angewendet werden.

561. Die vorzüglichste Construction ist die von Ziegelsteinen, und die beste Art derselben die von Gourlier vorgeschlagene, die jetzt viel bei neuen Gebäuden in Anwendung kommt.

Die Ziegelsteine haben die in Fig. 93 angegebene Gestalt, und vier bilden den ganzen Umfang. Sie haben zweierlei verschiedene Formen, damit die Fugen gedeckt werden. Die Essen sind auch in den Mauern selbst angebracht, ohne deren Stärke nachtheilig zu werden. Die Fig. 94 a und 94 b zeigen doppelte oder vierfache Essen nach demselben Principe. Der innere Durchmesser dieser Schornsteine beträgt 9 bis 10 Zoll, und diese Weite reicht in allen Fällen, sowol für die Heerde und Oefen, als auch für die Ventilation der Zimmer hin.

Diese Essen können nicht auf die gewöhnliche Weise gereinigt werden; allein die Operation wird weit leichter, mittelst eines Dornenbündels, bewerkstelligt, an welches man zwei Seile von der Länge des Schornsteins befestigt, durch die es in demselben leicht auf und nieder gezogen werden kann.

Dreißigstes Kapitel.

Von den Zug- oder Wetteröfen [1].

562. Unter dem Namen der Zug- oder Wetteröfen versteht man diejenigen Apparate, welche dazu dienen, das Aufsteigen einer gewissen Quantität auf irgend eine Art verdorbener atmosphärischer Luft oder eines jeden andern Gases zu veranlassen.

563. Man unterscheidet vier Arten von Wetteröfen:

1) Die, bei denen die herbeigeführte Luft ganz durch den Heerd des Zugofens geht. Dahin gehören alle Essen der gewöhnlichen Oefen.

2) Die, bei denen die herbeigeführte Luft nur zum Theil durch den Heerd geht; dies ist der Fall bei allen Essen der Küchenheerde und bei allen Wetteröfen der brennbaren Gase.

3) Die, bei denen die herbeigeführte Luft das Brennmaterial nicht durchstreicht; dies ist der Fall bei allen Apparaten, durch die unverbrennliche Gase entfernt werden sollen.

4) Die, welche das Gas, das zur Verbrennung gedient hat, nicht aufnehmen und die durch Wärmeröhren erheizt werden.

In allen diesen Fällen kann das herbeigeführte Gas, ehe es zu den Wetteröfen gelangt, Kanäle von größerer oder geringerer Ausdehnung durchströmen.

Diese Apparate werden sehr häufig in den verschiedenen Gesundheits-Apparaten angewendet. Es ist daher nothwendig,

---

[1]) Ich kenne keinen richtigern Ausdruck für Cheminées d'appel. H.

sie sorgfältig zu untersuchen, und die Art und Weise, wie man ihre Wirkung berechnet, zu kennen, damit man im Stande ist, ihre Dimensionen für jeden besondern Fall zu bestimmen und die vortheilhaftesten kennen zu lernen. Wir wollen hier nur die Art untersuchen, wie man ihre Geschwindigkeit in einem vorhandenen Wind- oder Wetterofen berechnen kann, sobald man die mittlere Temperatur der warmen Luft kennt.

Erster Fall.

Wenn die herbeigeführte Luft ganz durch den Heerd des Wetterofens strömt.

564. Dieser Fall findet, wie wir schon bemerkt haben, bei den Essen aller gewöhnlichen Oefen statt, wenn die Luft frei unter den Rost treten kann. Die Geschwindigkeit der Luftströmung deducirt sich leicht aus dem, was wir über die mittlere Temperatur der warmen Luft in den Essen, über ihre Höhe und ihren Durchmesser gesagt haben; und kennt man die Geschwindigkeit, indem man sie mit der Größe der Mündung multiplicirt, so erhält man den Aufwand an warmer Luft, die man leicht in kalte verwandeln kann.

Gelangt die Luft aber nur durch einen sehr langen Kanal (Fig. 95), von gleichem Durchmesser mit der Esse, zu dem Heerde, so wird die Reibung der kalten Luft in dem Wetterkanal nothwendiger Weise die Geschwindigkeit in der Esse verändern. Die Größe derselben hängt von dem Durchmesser des Kanals, von seiner Länge, wahrscheinlich auch von der Substanz, aus der er besteht, und von der Beschaffenheit des Gases ab.

Ich habe mehrere Versuche gemacht, indem ich an den Aschenkasten des Ofens (Fig. 96) eine Reihe von geraden und gebogenen Blechröhren anbrachte, deren Länge von 1 Meter bis zu 35 Millimeter verschieden war.

Ich habe dabei, wie es auch nicht anders sein konnte, gefunden, daß die Knie gar keinen Einfluß haben, und daß die Geschwindigkeit für Röhren von gleicher Länge, sie mögen gerade oder gebogen sein, dieselbe ist.

Alle übrigen Resultate stimmen mit den durch den Calcul erhaltenen Geschwindigkeiten überein, indem man die Formeln gebraucht, die am Ende der ersten Anmerkung, welche den Schluß des ersten Theils von dem vorliegenden Werke ausmachen, stehen.

Das Vorhergehende setzt voraus, daß der Kanal und die Essen gleichen Durchmesser haben und aus einer und derselben Substanz bestehen. Ist dies nicht der Fall, so muß man die folgenden Methoden der Berechnung anwenden.

565. 1) Wenn die Kanäle, welche die kalte Luft herbeiführen, von verschiedener Beschaffenheit sind, aber gleichen Durchmesser haben, so kann man, um genauer zu verfahren, einen mittleren Reibungs-Coefficienten nehmen und die correspondirende Geschwindigkeits-Formel finden. In der Praxis wird es jedoch weit vortheilhafter sein, die Geschwindigkeit nach der Formel des am meisten widerstehenden Kanals zu berechnen; man erhält dann ein wenig zu kleine Geschwindigkeiten, welches jedoch nur selten einen Nachtheil hat.

566. 2) Wenn der Kanal und die Esse ungleiche, jedoch wenig verschiedene Durchmesser haben, so müßte man die Berechnung nach der Hypothese machen, nach welcher die Durchmesser gleich, und zwar wie der kleinste sind. Man erhält demnach die Geschwindigkeit für den Kanal mit dem kleinsten Durchmesser, und die Geschwindigkeit für den andern, indem man die erstere mit dem Verhältnisse der Durchschnitte multiplicirt. Die auf diese Weise berechneten Geschwindigkeiten werden zu gering sein, besonders wenn die Esse den größten Durchmesser hat. Ist der Kanal für die kalte Luft sehr kurz, so verhalten sich die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Durchmesser.

567. Hat dagegen der kalte Luft-Kanal, in Verhältniß zu dem Kamin, einen sehr großen Durchmesser, so daß die Geschwindigkeit der kalten Luft, in Verhältniß zu der der warmen, sehr klein ist, so kann man fast immer den Einfluß des Kanals der kalten Luft unberücksichtigt lassen.

Ist der Kanal sehr lang und von einem kleinern Durch-

messer als die Esse, und man wollte eine größere Genauigkeit haben, so müßte man zuvörderst annehmen, daß die kalte Luft durch einen sehr kurzen Kanal eindringt, und man müßte die Geschwindigkeit in dieser Oeffnung bestimmen. Man deducirt daraus leicht den Druck, welcher diese Bewegung hervorbringt [1]), und berechnet darnach die Abzugs-Geschwindigkeit der kalten Luft in einem Kanal, der zur Höhe die Länge des kalten Luft-Kanals hat und demselben Drucke unterworfen ist. Ist dies die Geschwindigkeit der kalten Luft, so deducirt man daraus leicht die der warmen Luft in der Esse.

Zweiter Fall.

Wenn die herbeigeführte Luft bloß zum Theil durch den Wetterofen zieht.

568. Dies ist, wie wir schon gesagt haben, der Fall bei den Zimmer-Kaminen und bei den Essen, wobei der Heerd nicht die ganze Durchschnittsfläche der Esse einnimmt (Fig. 97 und 98). Dieser Umstand ist jedoch nur eine geringe Abänderung des vorhergehenden Falles, weshalb alle Berechnungen auf dieselbe Weise ausgeführt werden.

Dritter Fall.

Wenn die herbeigeführte Luft die Verbrennung nicht unterhält.

569. Diese Vorrichtung wird in allen den Fällen angewendet, in denen man Gase ableiten muß, die keine Verbrennung hervorbringen können, z. B. bei atmosphärischer Luft, die schon zur Verbrennung benutzt worden, und nun nicht mehr fähig ist, sie zu unterhalten.

In diesen Apparaten erhält die Esse des Wetterofens den Rauch des Heerdes und die Luft des Kanals, jedes besonders (Fig. 99).

---

[1]) Nennt man v die Geschwindigkeit am Ende des kalten Luftkanals, indem man ihn als sehr kurz annimmt, so wird der correspondirende Druck durch die Gleichung $v = \sqrt{2 g P}$ ausgedrückt, und P ist daher $= \frac{v^2}{2 g}$.

Wäre der Kanal, welcher die kalte Luft herbeiführt, sehr kurz, und läge er in gleicher Höhe mit oder unter der Mündung der warmen Luft, so würden die Geschwindigkeiten der beiden Ströme und die des gemeinschaftlichen Stroms leicht berechnet werden können, wenn man die mittlere Temperatur der Luft in der Esse und die Größe der Mündungen kennt; denn die Geschwindigkeit würde in beiden Mündungen, und die in der Esse würde gleich derjenigen sein, die, bei gänzlicher Offenheit, multiplicirt mit dem Verhältnisse der Quadratwurzel der Summe der Oberflächen beider Oeffnungen, zur Quadratwurzel des Durchschnittes des Kamins, stattfinden würde.

Ist aber der Luftkanal sehr lang, so wird man zuvörderst die Geschwindigkeit unter Voraussetzung der Hypothese, daß der Kanal sehr kurz ist, berechnen.

Darauf wird man eine senkrechte Esse von einer Länge und einem Durchmesser annehmen, die gleich der sind, welche der kalte Luftkanal hat, dessen Luft die Dichtigkeit der äußern Luft besitzt, und einem Drucke unterworfen ist, welcher der Geschwindigkeit an der Mündung des kalten Luftkanals, nimmt man ihn als sehr kurz an, correspondirt. Die Geschwindigkeit, die man erhält, ist gleich der der kalten Luft in dem Kanal.

Vierter Fall.

Wenn die kalte Luft mittelst Berührung und ohne Vermengung mit der verbrannten Luft erhitzt wird.

570. Diese Einrichtung des Apparats kommt mit dem des ersten Falles überein (Fig. 100 und 101), und der Aufwand des Wetterofens kann auf dieselbe Weise berechnet werden. Wenn die Wärmeröhre im Innern befindlich ist und sich zu einer großen Höhe erhebt (Fig. 100), so muß man zur Mündung den Unterschied zwischen dem Durchschnitt des Kamins und dem der Wärmeröhre annehmen. In allen Fällen aber muß man zur Berechnung der Geschwindigkeit die mittlere Temperatur der Luft in dem Kanal kennen. Bei den in Fig. 100 und 101 dargestellten Vorrichtungen würde es

sehr schwierig sein, dieselbe genau zu bestimmen, weil sie in einem und demselben Durchschnitte nicht constant ist.

Was nun die Wahl der passendsten Vorrichtung der Wetteröfen in allen vorkommenden Fällen betrifft, so wie auch die Bestimmung der zur Hervorbringung einer gegebenen Wirkung erforderlichen Dimensionen, so wird davon erst bei den Ventilations-Apparaten die Rede sein.

Einunddreißigstes Kapitel.

Einfluß des Zustandes der Atmosphäre auf den Zug der Essen.

§. 1. Einfluß der Winde.

Die Winde haben, wie allgemein bekannt ist, einen sehr großen Einfluß auf den Zug der Essen oder Schornsteine; ihre Wirkung zeigt sich oft, sowol an der Ausgangsöffnung der warmen, als auch an der Eingangsöffnung der kalten Luft, d. h. an der Mündung der Esse und an der Oeffnung des Aschenkastens oder des Speisungskanals, und aus diesem Grunde untersuchen wir nach einander den Einfluß des Windes auf beide Enden des Kanals.

Einfluß der Winde auf die Mündung der Essen.

Um diesen, der, besonders bei sehr schwachem Zuge, von großer Wichtigkeit ist, genau zu untersuchen, muß man den Einfluß des Windes nach allen möglichen Richtungen betrachten, welches jetzt geschehen soll.

571. Wir wollen zuvörderst annehmen, daß die Richtung des Windes senkrecht auf dem Kamine stehe und folglich horizontal sei.

Die unmittelbare Wirkung besteht in einer Krümmung des Rauches, wie es die Fig. 102 angiebt. Bei diesem Zustande der Strömung muß man die Veränderung untersuchen, die ihr Querschnitt und ihre Geschwindigkeit erlitten haben. Da nun aber die senkrechte Uebergangs-Geschwindigkeit durch

eine, senkrecht auf dieselbe wirkende Kraft keine Veränderung erleiden kann, so wird folglich das Ausströmen der warmen Luft constant sein, wenn die Neigung des Stroms nicht groß genug gewesen ist, um den Durchmesser der entweichenden Luftsäule zu vermindern. In diesem letztern Falle ist es deutlich, daß das Ausströmen im Verhältnisse der Verengung des Durchmessers der Luftsäule vermindert werden wird; allein eine solche Verengung findet nur bei sehr heftigen Winden statt, so daß man im Allgemeinen annehmen muß, daß ein horizontaler Wind das Ausströmen aus einem Kamine nicht verändere.

Wenn der Wind eine senkrechte Richtung von oben nach unten hat, so stoßen sich beide Ströme nach Art der elastischen Körper, und die hervorgebrachte Wirkung hängt von ihrer gegenseitigen Geschwindigkeit ab. Haben beide Ströme gleiche Geschwindigkeit, so werden beide aufgehalten; das Aufsteigen der Luft in der Esse hört daher ganz und gar auf, und der sich unaufhörlich aus dem Brennmaterial entwickelnde Rauch strömt in das Zimmer zurück. Hat dagegen der Wind eine weit größere Geschwindigkeit als der Rauch, so strömt die äußere Luft in den Schornstein, und der in demselben befindliche und sich entwickelnde Rauch, so wie die äußere Luft, gehen zur Ofenthür hinaus, und dieses mit einer um so größeren Geschwindigkeit, als die des Windes im Verhältniß zu der des Rauches, bei ruhiger Luft, war. Es ist klar, daß, wenn die Geschwindigkeit des Windes geringer als die des Rauchs ist, die Geschwindigkeit des Stromes nur aufgehalten wird.

Nimmt man aber an, daß der Wind von unten nach oben ströme, so wird sein Einfluß auf die Geschwindigkeit der Rauchentwickelung dann, wenn die Geschwindigkeit gleich oder geringer als die des Rauchs sein wird, aufhören, im entgegengesetzten Falle aber stets günstig sein, und der Rauch wird dann an Geschwindigkeit zunehmen.

572. Die Ursache dieses Einflusses des von unten nach oben strömenden Windes ist leicht zu erkennen. Jedesmal, wenn ein Luftstrom ein Hinderniß AB (Fig. 103) trifft, so

wird die dahinter befindliche Luft zum Theil mit hinweggeführt. Es bildet sich dann hinter dem Hindernisse eine Luftleere, und ein daselbst befindliches Barometer würde bedeutend fallen. Da diese Wirkung von der Gestalt und Dicke der dem Luftstrome entgegengesetzten Seite unabhängig ist, so begreift man, daß wenn der Körper die Gestalt eines Cylinders hat, die Wirkung dennoch dieselbe bleibt; und wenn dieser Cylinder hohl wäre und in der Richtung des Windes einen Luftstrom entweichen ließe, so würde der warme Luftstrom eine große Beschleunigung erhalten, wenn die Geschwindigkeit des Windes größer als die der Strömung bei ruhiger Luft wäre.

573. Selten haben aber die Luftströme die untersuchten Richtungen, denn sie sind fast nie horizontal oder vertikal, sondern haben eine größere oder geringere Neigung gegen den Horizont. Man kann aber diesen allgemeinen Fall leicht auf diejenigen, die wir untersucht haben, zurückführen; denn man kann einen geneigten Strom als aus zwei, einem horizontalen und vertikalen, bestehend ansehen (Fig. 104, 105), und leicht aus dem Vorhergehenden folgern, daß der Einfluß des Windes günstig ist, wenn er sich zu erheben strebt, und im entgegengesetzten Falle stets ungünstig.

574. Aus dem Vorhergehenden geht hervor, daß der Einfluß des Windes auf den Zug der Essen um so größer ist, als dieser geringer, als die Geschwindigkeit des Windes größer, und als seine Neigung gegen den Horizont bedeutender ist [1]);

---

1) Geschwindigkeit des Windes.

0,5	Metr. (in der Secunde)	kaum bemerkbarer Wind.
1	»	bemerkbarer »
2	»	mäßiger »
5,5	»	mäßig starker »
10	»	starker »
20	»	sehr starker »
22,5	»	Sturm.
27	»	heftiger Sturm.
36	»	Orkan.
45	»	Orkan, der Bäume entwurzelt und Häuser umstürzt (Smeathon).

daher hat man bei allen Feuerbauten dahin zu sehen, daß dem Rauchstrome bei seinem Ausgange in die Luft die möglich größte Geschwindigkeit gegeben wird.

575. Jedoch ist es nicht immer möglich, dem Rauche eine so bedeutende Geschwindigkeit zu geben, daß er unter den gewöhnlichen Umständen von den Winden keinen Einfluß erlitte; denn Ersparung des Brennmaterials, und eine große Menge besonderer anderer Umstände, machen es oft nöthig, daß man dem Rauche nur eine geringe Geschwindigkeit geben kann. In diesem Falle ist es nöthig, die obere Mündung der Schornsteine mit verschiedenen Apparaten zu versehen, die dazu bestimmt sind, den Einfluß des Windes zu vermindern und den Zug zu vermehren. Diese Apparate werden in dem folgenden Kapitel beschrieben werden.

Einfluß des Windes auf die Heerde.

576. Betrachten wir die rechtwinklicht gebogene Röhre ABC (Fig. 106), welche einen gewöhnlichen Heerd nebst seiner Esse vorstellt. A ist die Oeffnung, durch welche die zur Unterhaltung der Verbrennung erforderliche kalte Luft eintritt, C die Mündung des Schornsteins, durch welche der Rauch abzieht.

577. Nehmen wir nun an, daß der Schornstein mit kalter Luft von gewöhnlicher Temperatur angefüllt sei, und daß ein horizontaler, senkrecht auf der Richtung der Röhre ABC stehender Windstrom stattfinde, so ist es klar, daß die in derselben befindliche Luft keine Bewegung erleidet. Ist aber der Strom der Röhre AB parallel, so bestimmt er das Ausströmen der Luft aus der Röhre ABC, in der Richtung der Bewegung der äußern Luft; d. h. wenn der Wind die Richtung BA hat, so wird die Luft durch C ein- und durch B ausströmen; hat er dagegen die Richtung AB, so wird er durch A ein- und durch C ausgehen.

578. Wir wollen jetzt annehmen, daß die Röhre mit warmer Luft angefüllt sei, die mit einer gewissen Geschwin-

digkeit durch die Mündung C ausströme. Es ist klar, daß, wenn der Wind die Richtung AB hat, und seine Geschwindigkeit viel größer, als die des warmen Luftstroms ist, die Geschwindigkeit des letztern beschleunigt, und im Gegentheil, wenn sich der Wind in der Richtung BA bewegt, der Luftstrom stets vermindert werden wird. Bläs't daher bei einer Hütte, deren Lage gleich der in Fig. 107 ist, der Wind in der Richtung AB, so wird der Zug befördert, und vermindert, wenn er die umgekehrte Richtung hat.

579. Es ist eine von mir sehr häufig, besonders in den Natronfabriken beobachtete Erscheinung, daß jedesmal, wenn der Wind die entgegengesetzte Richtung von der der warmen Luft in den Oefen hat, der Zug stets aufgehalten wird. Auch habe ich diese Thatsache noch bei einem großen Apparate bestätigt gefunden, bei welchem ein sehr schwacher Zug stattfand, der deshalb nur so sein konnte, weil er auf künstliche Weise durch Verbrennung in einem Wetterofen hervorgebracht wurde. Der Einfluß des Windes war weit beträchtlicher, als in den Natronöfen, die einen sehr starken Zug hatten.

§ 2. Einfluß der Veränderungen der Temperatur der Atmosphäre auf den Zug der Essen.

580. Bleibt die Temperatur der Luft in den Essen constant, so ist es klar, daß, um je niedriger die äußere Temperatur, um so größer die Geschwindigkeit des warmen Luftstroms sein wird; denn, wie wir sahen, hängt diese Geschwindigkeit lediglich von dem Unterschiede dieser Temperatur ab. Auch ist in kalten und trocknen Zeiten die Verbrennung in allen Oefen weit lebhafter, als in warmen Tagen; dies ist eine bekannte und fortwährend in allen Hütten als richtig anerkannte Thatsache.

Die kalte Luft wirkt aber nicht allein durch Vermehrung der Ausströmungs-Geschwindigkeit, sondern auch dadurch, daß sie den Heerd mit weit dichterer Luft speis't, welches viel zur Beschleunigung der Verbrennung beiträgt, obgleich die Ge-

schwindigkeit der zuströmenden kalten Luft nicht im Verhältnisse zum Verbrauch der warmen Luft steht; da die kalte, auf das Brennmaterial strömende Luft sowohl durch die Geschwindigkeit des warmen, als auch durch die Dichtigkeit des kalten Luftstroms bedingt wird. Da nun die Kohlensäure, bei gleicher Temperatur und unter demselben Drucke, ein gleiches Volum mit dem Sauerstoffe, der sie gebildet, hat, so geht daraus hervor, daß das eintretende Volum warmer Luft gleich sein muß dem Volum der austretenden warmen Luft, indem beide auf dieselbe Temperatur zurückgeführt worden sind, und daß folglich, bei übrigens gleichen Umständen, die Geschwindigkeit des kalten Luftstroms in umgekehrtem Verhältnisse zu der Dichtigkeit stehe.

581. Auf den ersten Blick scheint diese Zunahme des Zuges mehr Brennmaterial zu kosten; denn die zu derselben Temperatur erwärmte Luft erfordert um so mehr Wärme, als ihre anfängliche Temperatur geringer war. Da aber im Allgemeinen die durch die Verbrennung hervorgebrachte nützliche Wirkung mit der Lebhaftigkeit des Zuges zunimmt, weil alsdann die der Verbrennung entgehende Luftmenge um so geringer ist, so gewährt sie wirklich Vortheil.

§ 3. Einfluß des atmosphärischen Drucks.

582. Der Druck der Atmosphäre hat einen leicht zu schätzenden Einfluß; je größer der Druck ist, je dichter ist die kalte oder warme Luft. Es folgt daraus, daß die Dichtigkeit der die Verbrennung speisenden Luft proportional dem Barometerdruck, und da die Dichtigkeit der Luft die Verbrennung sehr begünstigt, so folgt auch ferner, daß die Verbrennung um so lebhafter, als der Barometerdruck größer ist.

583. Wenn die Veränderungen des Drucks sehr beträchtlich sind, so ist der Einfluß der Dichtigkeit der Luft sehr bedeutend. Auf dem Montblanc, wo der Barometerstand nur 0,57 Metr. beträgt, und wo folglich die Dichtigkeit der Luft nur 0,75 von der Luft am Niveau des Meeres beträgt, hat Herr von Saussure die Beobachtung gemacht, daß Holzkohlen

nicht von selbst brannten, sondern daß die Verbrennung fortwährend durch einen Blasebalg unterhalten werden mußte.

584. Es bleibt uns nun noch der Einfluß des Drucks auf die Geschwindigkeit des Aufsteigens des Rauches zu untersuchen übrig. Wir haben vorhin gesehen, daß die Geschwindigkeit des Ausströmens gleich derjenigen Geschwindigkeit ist, die ein Körper erlangt, der von einer Höhe fällt, die gleich der Ausdehnung ist, welche eine kalte Luftsäule, von gleicher Höhe mit der Esse, erleidet, um die Dichtigkeit der warmen Luft zu erlangen. Folglich reducirt sich Alles darauf, zu wissen, ob die Luft, bei gleichen Thermometergraden, sich auch gleich ausdehnt, der Druck sei, welcher er wolle. Dies ist nun durch Davy bestätigt worden. Demnach bleibt, sobald als die die Geschwindigkeit erzeugende Höhe nicht verändert wird, die Ausströmungsgeschwindigkeit unabhängig von der Barometerhöhe.

585. Aus dem Vorhergehenden folgt, daß der einzige Einfluß der Barometerveränderungen in der Dichtigkeit der Luft, welche die Verbrennung unterhält, liegt. Die Verbrennung ist aber um so lebhafter, je höher der Barometerstand ist. Dies hat man auch seit langer Zeit beobachtet.

§ 4. Einfluß des hygrometrischen Zustandes der Luft.

586. Wenn die Luft Wasserdämpfe enthält, so ist, bei gleichem Druck und Volum, ihr Sauerstoffgehalt geringer, und da eine große Feuchtigkeit in der Atmosphäre gewöhnlich mit einem bedeutenden Sinken des Barometers verbunden ist, so folgt daraus, daß alsdann alle Umstände vereinigt sind, um eine sehr schlechte Verbrennung hervorzubringen. Denn obgleich die Elemente des Zuges streng dieselben sind, so wird er doch wegen Mangel an Sauerstoff in der Luft, die zum Brennterial tritt, sehr schlecht sein, und die Verbrennung folglich auch.

587. Man hat dies wirklich in allen Hütten beobachtet; bei sehr feuchtem Wetter ziehen die Oefen schlecht. Der Einfluß auf die Verbrennungs-Apparate und auf die Respirations-

Organe ist dann gleich, und dies muß auch so sein, denn die Erscheinungen, welche entstehen, haben große Analogie mit einander.

Der Einfluß, den die in der Luft enthaltene Feuchtigkeitsmenge auf die Verbrennung ausübt, ist so groß, daß in einigen Thälern Schwedens, in denen es sehr heiß ist, zwei bis drei Monate lang die Hohöfen gedämpft werden müssen.

§ 5. Einfluß der Sonnenstrahlen.

588. Wenn die Sonnenstrahlen in einen Schornstein dringen, in welchem die Temperatur nicht sehr hoch ist, wie z. B. in den Schornsteinen unserer Zimmer-Oefen und Kamine, so weiß man aus Erfahrung, daß der Rauch zurückdringt. Noch Niemand hat es bis jetzt versucht, diese einzige Erscheinung zu erklären. Jedoch bin ich der Meinung, daß man sich sehr leicht Rechenschaft davon geben könne. Die nothwendige Bedingung des Zurücktretens des Rauchs ist die, daß die Strahlen in den Schornstein dringen, und da es nun offenbar unmöglich ist, anzunehmen, daß die Sonnenstrahlen auf den Rauch einen Druck ausüben, der das in Rede stehende Zurücktreten veranlassen könnte; so muß die entstandene Wirkung eine andere Ursache haben. Wenn man bemerkt, daß die Wände eines Kamins stets durch den Rauch geschwärzt sind, daß ferner die schwarzen, den Sonnenstrahlen ausgesetzten Körper schnell eine hohe Temperatur annehmen, so wird man sehen, daß die Wirkung von dem Vorhandensein der Sonnenstrahlen die ist, die innere erleuchtete Wand zu erwärmen. Da sich nun diese hohe Temperatur den, dieser Wand anliegenden, Luftschichten mittheilt, so müssen dieselben eine große Geschwindigkeit beim Aufsteigen erlangen; und da diese Bewegung nicht hinlänglich ist, um den Zug zu beschleunigen, so muß sich nothwendig an der im Schatten befindlichen Wand eine niedergehende Strömung bilden. Man begreift nun, daß diese letztere Bewegung dem Zuge entgegenwirken, und sogar einen Zurücktritt des Rauchs veranlassen kann. Ich gebe jedoch diese Erklärung nur als eine wahrscheinliche Hy-

pothese, die, um angenommen zu werden, durch Versuche bestätigt werden müßte.

589. Wiederholt man das Vorhergehende, so sieht man: 1) daß die Winde einen günstigen Einfluß haben können, wenn sie sich in der Richtung der Rauchentwickelung bewegen, oder wenigstens, wenn einer der die Bewegung veranlassenden Theile diese Richtung hat; 2) daß, wenn der Wind sich in entgegengesetzter Richtung bewegt, sein Einfluß stets nachtheilig sei; 3) daß die Vermehrung oder Verminderung des Drucks, so wie die hygrometrischen Veränderungen der Luft, keinen unmittelbaren Einfluß auf die Geschwindigkeit des Rauches, aber einen sehr großen auf die Verbrennung, und folglich auch auf den Zug, haben; 4) daß die Temperatur-Veränderungen der Luft einen großen Einfluß auf die Geschwindigkeit des Ausströmens der warmen Luft, so wie auf die Verbrennung, haben.

590. Durch gehörig angebrachte Apparate kann man den Einfluß der Winde auf die Mündung der Essen ganz aufheben und ihren Zug stets verbessern. Dasselbe findet auch mit dem Einfluß auf die Heerde statt; allein was den Einfluß der Erhöhung der Temperatur und auf den hygrometrischen Zustand der Luft betrifft, so ist es unmöglich, ihn zu vermeiden. Man kann ihn jedoch unter gewissen Umständen, wenigstens theilweise, verbessern, indem man die Luft in der Esse zu einer höhern Temperatur gelangen läßt.

591. Ist jedoch die Geschwindigkeit des Ausströmens sehr groß, so sind alle diese Einflüsse nur gering. Auch sind die Apparate, welche die Einwirkung der Winde zu verhindern suchen, und die in dem folgenden Kapitel beschrieben werden, nur bei solchen Essen wesentlich nöthig, die nur einen geringen Zug haben, besonders die Schornsteine der Wohngebäude und der Wetteröfen.

Zweiunddreißigstes Kapitel.

Apparate, die dazu dienen, den Zug der Essen dem Einfluß der Winde, der Sonne und des Regens zu entziehen.

§ 1. Apparate für die Mündungen der Essen.

592. Die zur Erreichung dieses Zwecks vorgeschlagenen Apparate sind sehr zahlreich; wir werden diejenigen beschreiben, die wirklich angewendet sind, und die, welche mit Vortheil angewendet werden könnten.

593. Man kann diese Apparate in zwei Klassen, die feststehenden und die beweglichen, theilen.

Feststehende Apparate.

594. Bei den meisten Schornsteinen begnügt man sich damit, die obere Mündung mittelst eines konischen Rohrs, oder mittelst der in Fig. 108 dargestellten Vorrichtung, zu verengen. Dadurch vermehrt man die Geschwindigkeit an der Mündung sehr, und der Wind muß daher eine große Geschwindigkeit und eine sehr starke Neigung gegen den Horizont haben, wenn er den Rauch zurücktreiben will. Durch die geringe Ausdehnung der Mündung werden fast eben so vollkommen die Nachtheile, welche durch Hereindringen des Regens und der Sonnenstrahlen entstehen, vermieden.

595. Die Fig. 109 giebt die perspectivische Ansicht von einer Vorrichtung, welche stets einen Theil des Schornsteins der Einwirkung des Windes entzieht. Der Scheider BC geht nicht tief nieder. Es ist offenbar, daß die Verschiedenheit der Höhe des Scheiders ABCD über die Ränder des Schornsteins EFG und HIK um so bedeutender sein muß, als die gegen die Erdoberfläche gerichteten Winde gewöhnlich eine größere Neigung haben und je weiter die Esse ist. Wenn dieser Apparat gehörig construirt ist, so schützt er offenbar die Hälfte der Schornstein-Mündung vor der Einwirkung des Windes, allein da er ihm einen Zutritt zur andern Hälfte

gewährt, so ist es sehr schwierig, im Voraus zu bestimmen, ob er sie ganz schützen kann.

596. Unter den übrigen feststehenden Apparaten besteht die einfachste, und zu gleicher Zeit die wirksamste, aus einem Aufsatz von verschiedener Gestalt, welchen die Schornstein-Mündung bis auf eine gewisse Höhe bedeckt, dessen Ränder über die des Schornsteins hinausreichen und auch mehr hinuntergehen (Fig. 110). Sind diese Bedingungen wirklich erfüllt, so ist es unmöglich, daß das Regenwasser und die Sonnenstrahlen in die Esse eindringen, und daß die von oben nach unten gegen den Horizont geneigten Winde, die einzigen, die zu fürchten sind, eben so wenig eindringen und dem Zuge nachtheilig werden können. Daher erfüllen an freiliegenden Orten, wo man die von unten nach oben gerichteten Windströme nicht zu fürchten hat, diese Apparate stets vollkommen den vorgesteckten Zweck.

597. Dieser eben beschriebene einfache Apparat ist auf tausend verschiedene Arten verändert worden, jedoch sind nicht alle zweckmäßig. Wir wollen einige davon beschreiben.

598. Fig. 111 A giebt die perspectivische Ansicht, und Fig. 111 B den Durchschnitt von Hauben, die man sehr häufig bei Essen anwendet. Sie bestehen aus zwei großen Ziegeln oder Gipsplatten, die auf den Rändern der Mündung stehen und mit ihren obern Kanten an einander liegen. Sie vermeiden die Nachtheile der Sonnenstrahlen, des Regens und Windes nur zum Theil, da der Apparat an zwei Seiten offen ist. Nun stellt man zwar die Ziegeln in der Richtung der am häufigsten wehenden Winde, allein diese Vorrichtung ist unvollkommen und von geringer Festigkeit.

Die Fig. 112, 113 und 114 stellen, die erstere eine perspectivische, die beiden andern Durchschnitte von aus Blech gefertigten Hauben dar, die man oft auf den Schornstein-Mündungen befestigt. Sie haben dieselbe Unbequemlichkeit wie Fig. 111. Jedoch vermeidet man diese ganz und gar, wenn man vor den horizontalen freien Oeffnungen, und etwas davon entfernt, zwei weit größere, senkrecht stehende Blechta-

feln anbringt. Man vermeidet auf diese Weise nicht allein den Einfluß aller horizontal wehenden Winde, sondern auch größtentheils den der von unten nach oben gerichteten. Die Fig. 115, 116 und 117 stellen die Perspective und die Durchschnitte dieses Apparates dar.

599. Fig. 118 zeigt einen noch weit öfter angewendeten Apparat. Er hat die Gestalt einer dem Schornstein aufgesetzten Blechkappe, wie in Fig. 110. Es ist diese Kappe offenbar weit zu hoch und weit zu klein, und beugt den zu verbessernden Nachtheilen nur zum Theil vor. Es scheint, daß man bei der Construction dieser Apparate gefürchtet habe, die senkrechte Bewegung der Luft zu hindern, allein die Ausgangsgeschwindigkeit ist ganz und gar unabhängig von der Richtung der Mündung. Daher ist es immer vortheilhafter, große und unter das Niveau der obern Ränder des Schornsteins hinabgehende Hauben zu machen, wie in Fig. 109, wenn man die von unten nach oben gerichteten Winde nicht zu fürchten hat.

600. Die Fig. 119 stellt denselben Apparat, jedoch mit einer vortheilhaften Abänderung, dar: die Haube ist inwendig mit einer Kappe versehen, die eine entgegengesetzte Stellung hat. Dieser Theil des Apparates gewährt den Vortheil, daß er die von unten kommenden Winde nach Außen zu zurückwirft.

601. Der in Fig. 120 dargestellte Apparat besteht aus einer sich in zwei Arme theilenden Röhre, und diese Arme sind niederwärts gerichtet. Er ist dem in Fig. 110 gezeichneten vollkommen analog.

Eine andere, meines Erachtens den vorstehenden vorzuziehende Vorrichtung ist in Figur 121 dargestellt. Der Apparat besteht aus einer Blechröhre in der Gestalt eines T, welcher dem Rauche vier Ausgangsöffnungen A, B, C, D läßt. Man wird leicht einsehen, daß bei diesem Apparate, die Richtung des Windes sei übrigens, welche sie wolle, es wenigstens immer zwei Oeffnungen geben wird, aus denen der Rauch frei ausgehen kann.

602. Man construirt diese Apparate oft aus Gips, allein sie haben keine Festigkeit und widerstehen den Orkanen selten. Die Fig. 122 ist eine einfachere und wirksamere Abänderung von der vorigen, die sehr häufig angewendet wird.

603. Die Fig. 123 und 124 stellen den, unter dem Namen der Priestermütze bekannten, Apparat dar. Noch vortheilhafter aber ist die Abänderung (Fig. 124 b); der Aufsatz ist oben zu, aber mit Seitenöffnungen versehen, die durch den äußern Cylinder geschützt sind.

604. Der Apparat Fig. 125 besteht aus zwei abgestumpften Kegeln, deren Oeffnung mit dem Schornstein gleiche Weite hat. Die Oeffnung des ersten Kegels ist auf den Schornstein befestigt; der zweite steht höher und ist mit einer Kappe versehen. Man kann leicht einsehen, daß bei dieser Vorrichtung die horizontalen oder von oben nach unten gerichteten Winde, indem sie an den Oberflächen der Kegel zurückprallen, eine niedergehende Richtung annehmen und das Ausströmen des Rauchs befördern werden. Dieser Apparat hat sich durch Versuche als sehr zweckmäßig bewiesen.

Von allen beschriebenen Apparaten ist jedoch der beste und für offene Orte der einfachste, der in Fig. 110 dargestellte. In Städten aber, wo oft Stürme von unten nach oben zu stattfinden, sind die wirksamsten Apparate die in Fig. 123 und 124 b gezeichneten.

Bewegliche Apparate.

605. Diese haben den Zweck, die Mündung des Schornsteins in eine dem Winde entgegengesetzte Richtung zu bringen, so daß der Rauch dieselbe zu nehmen sucht; alsdann widersetzt sich der Wind nicht allein dem Ausströmen des Rauchs nicht, sondern er vermehrt auch immer den Zug, wenn die Geschwindigkeit des Windes größer als die des Rauchs ist.

606. Die Fig. 126 und 127 stellen die einfachsten Vorrichtungen dieser Art dar; die Schornstein-Mündung endigt sich in eine cylinderförmige Röhre, die von einer andern kürzern, um eine Axe beweglichen, oben verschlossenen, an der Seite

aber mit einer großen Oeffnung, mit oder ohne Rand, versehenen umgeben ist. Der obere Deckel der Haube ist mit einer Windfahne versehen, die in der senkrechten Ebene des Durchmessers, der die Seitenöffnung in zwei gleiche Theile theilt, oder auf der Verlängerung des Radius, seitwärts von der Oeffnung steht, versehen. Die leichteste Art, die bewegliche Haube aufzuhängen, ist die, am Ende des Schornsteins eine Eisenstange A B, bei B in der Querstange C D zu befestigen, und die bei A mit einer Pfanne versehene Haube darauf zu stellen. Auch geht die Stange noch durch die Oeffnung einer Querstange G H, die an der beweglichen Haube befestigt ist.

607. Diese Apparate würden offenbar die besten sein, wenn man der Haube eine vollkommene Beweglichkeit geben könnte; weil aber die Reibung stets bedeutend genug ist, so ist es bei schwachem Winde oft der Fall, daß die Seitenöffnung in der Richtung des Windes befindlich ist, und daß, bei sehr schwachem Zuge, der Rauch durch den Heerd ausströmt, oder in die Küche oder das Zimmer zurückgeht. Dieser Fall kann um so öfter vorkommen, als in dieser Stellung der Wind keine Einwirkung auf die Fahne haben kann. Zur möglichsten Vermeidung dieser Nachtheile muß man den Fahnen immer die möglich größten Dimensionen und den Bewegungen die möglich größte Freiheit geben.

608. Diese stets aus Blech bestehenden Apparate würden, wegen ihrer leichten Oxydirbarkeit, von geringer Dauer sein, wenn man sie nicht mit einem Firniß überzöge. Theer, besonders Steinkohlentheer, ist am passendsten dazu. Er widersteht der Einwirkung der Luft lange, selbst in einer Temperatur von 200°.

Ein ähnlicher Apparat, als die Fig. 126 und 127, ist der in Fig. 128 dargestellte. Der Auszugsöffnung der beweglichen Haube gerade gegenüber ist eine Röhre A B befindlich, die in einen Trichter endigt. Ist demnach der Wind stark genug, den Aufsatz zu drehen, so dringt der Wind in die Röhre A B ein, und vermehrt den Zug des Rauchs; dies ist

wenigstens der Erfolg, der durch Versuche gefunden ist. Allein im Allgemeinen gewährt diese Vorrichtung keine Vortheile.

609. Zuweilen wendet man eine bei weitem einfachere Vorrichtung an, als alle die vorhergehenden sind. Sie ist in Fig. 129 dargestellt. Der Apparat besteht aus einer Platte, die um eine, in den Wänden des Schornsteins befestigte, horizontale Stange beweglich ist. Da die Platte einen gleichen horizontalen Durchmesser hat, als der des ihr correspondirenden Schornsteins, und sein beweglicher Durchmesser weit größer, als der andere Durchmesser des Kamins ist, so ist es klar, daß der auf den obern Theil der Platte wirkende Wind ihr eine solche Neigung geben wird, daß der Rauch stets in der Richtung des Windes ausströmt. Dieser Apparat ist zwar sehr einfach, allein wenn der Wind in der Richtung der senkrechten Ebene, welche durch die bewegliche Axe geht, wehet, so ist er ganz ohne Einfluß. Dennoch kann man ihn mit Vortheil anwenden, wenn man die horizontale Axe senkrecht auf die Richtung der herrschenden Winde richtet.

610. Endlich wendet man auch hin und wieder eine Vorrichtung an, die in Fig. 130 dargestellt ist. Sie besteht aus einem vier- oder achtseitigen, auf dem Schornstein angebrachten, oben verschlossenen Aufsatz, der an der Seite aber mit Klappen versehene Oeffnungen hat. Die Klappen hängen oben in Hespen, und je zwei sind durch eine sie verbindende Stange in einem gewissen Grad der Oeffnung erhalten (Fig. 130), so daß, wenn der Wind weht, diejenige Klappe an der Seite, von welcher er kommt, verschlossen, und die andere um so mehr geöffnet wird. Auf großen Essen kann dieser Apparat leicht und ohne große Kosten angebracht werden. Ob ähnliche, mit Jalousien versehene Vorrichtungen ihren Zweck erfüllen, weiß ich nicht; offenbar sind sie aber weit zusammengesetzter und theurer, als die vorhergehenden.

611. Alle diese Apparate, sowohl die feststehenden, als auch die beweglichen, können, wie bereits oben bemerkt wurde, nur bei solchen Essen angewendet werden, die einen geringen Zug haben, besonders bei den der Wohngebäude und der Ven-

tilation bei Hütten und Gruben. Für Hütten habe ich öfter eine sehr einfache Haube von Holz (Fig. 110 A und 110 B) angewendet, und gefunden, daß sie bei den heftigsten und entgegengesetztesten Winden stets hinreichend war. Außerdem ist auch die Vorrichtung Fig. 130 sehr zu empfehlen.

§ 2. Apparate, welche dazu bestimmt sind, die Heerde vor dem Einflusse des Windes zu sichern.

612. Da die Winde selten von unten nach oben gerichtet sind, wenn die Aufnahme der Luft, welche die Verbrennung unterhält, an einem offenen Orte, und durch eine horizontale, im Boden befindliche und durch einen Kanal mit dem Heerde in Verbindung stehende Oeffnung geschiehet, so wird der Heerd von den Winden nie einen Einfluß erleiden, ihre Richtung sei, welche sie wolle. Und wenn man den Kanal sehr weit macht, so daß die Geschwindigkeit der Luft sehr gering wird, so wird doch auch der Zug nicht merklich vermindert werden. Kommt übrigens die Luft außerhalb der Werkstätte her, so wird man stets, selbst in ruhigen Zeiten, einen Vortheil für den Zug haben, besonders wenn die Temperatur in den Werkstätten hoch ist, weil, wenn die Luft in diesen wärmer, als außerhalb, der die Bewegung bestimmende Druck weit kleiner ist, wenn sich das Aschenloch nach der Werkstätte zu öffnet, als wenn er unmittelbar mit der äußern Luft in Verbindung steht.

613. Unter gewissen Umständen kann man die Aufnahme der Luft sehr leicht so einrichten, daß der Wind zur Vermehrung des Zuges beiträgt. Wenn z. B. der Ofen in Figur 131 in der Richtung der herrschenden Winde steht, so könnte man, wenn man den Kanal, welcher die zur Verbrennung erforderliche Luft herbeiführt, nach den beiden entgegengesetzten Seiten, außerhalb der Werkstätte, ausgehen läßt, mittelst zweier beweglichen Klappen die Aufnahme der Luft von der Windseite bewerkstelligen. Ich habe diese Vorrichtung bei mehreren Oefen mit großem Vortheile angebracht.

614. Kann die Aufnahme der Luft an einem abgesonder-

ten Orte geschehen, so kann der Wind, mittelst analoger Apparate, als die, welche wir bei den Kaminen beschrieben haben, zur Vermehrung des Zuges angewendet werden. Allein ihre Einrichtung ist ganz verschieden, denn sie muß so sein, daß die Luft hinzutreten kann.

615. Die einfachsten beweglichen Apparate sind in Fig. 133 und 134 dargestellt. Der erstere besteht in einer beweglichen metallenen Haube A B, die mit einer Windfahne versehen, welche so steht, daß die Oeffnung der Haube stets gegen den Wind gerichtet ist, so daß dieser in den Kanal eintritt.

616. Der zweite besteht in einem quadratischen Thurme, der oben offen und an jeder Seite mit einer Oeffnung versehen ist, die inwendig mit einer hölzernen Klappe versehen sind. Diese sind an ihrem obern Ende um ein Charnier beweglich, und haben ein Gegengewicht, so daß die geringste Kraft hinreichend ist, sie zu heben, und der Luft einen Seiteneingang zu verschaffen.

Anmerkungen.

Erste Anmerkung.

Bestimmung der Geschwindigkeit der warmen Luft in einer senkrechten Röhre, bei Berücksichtigung der Reibung.

Wenn ein warmer Luftstrom sich in einer Esse erhebt, so bringen der die Bewegung bestimmende Druck und der Widerstand, den die Luft bei ihrer Bewegung in der Röhre leistet, in der Säule der emporsteigenden Luft ein Uebermaaß der elastischen Kraft hervor, welche nach oben zu fortwährend abnimmt. Dies ist eine von mir durch unmittelbare Beobachtungen erkannte Thatsache, die auch von Herrn d'Aubuisson vollkommen bestätigt worden ist. Nun hat Letzterer freilich die Versuche mit kalter Luft gemacht, die durch zusammengedrückte Luft gepreßt worden ist; allein man sieht leicht ein, daß der Fall ganz analog sei, und daß wenigstens dieselben Erscheinungen vorkommen müssen.

Es ist daher augenscheinlich, daß an der Mündung der Esse die Geschwindigkeit proportional dem Ueberschuß der Elasticität der Luft sei; und da durch alle Essendurchschnitte in derselben Zeit eine gleiche Luftmenge gehen muß, da die Bewegung unaufhörlich ist, so folgt daraus nothwendig, daß an jedem Punkte die Geschwindigkeit im umgekehrten Verhältnisse zur Dichtigkeit stehe, und daß folglich die Geschwindigkeit vom Anfange nach der Mündung zu zunehme.

Bezeichnen wir den Druck, der sich am untern Ende des Kamins zeigt mit P, und den an der Mündung mit p, so ist es klar, daß P — p das Maaß des Widerstandes, welchen die Luft in der Röhre erfährt, sein wird. Nach den zahlreichen, mit dem Wasser und den neuerlich mit der Luft angestellten Versuchen von Girard und d'Aubuisson, nimmt der Widerstand, wie das Quadrat der Geschwindigkeit, im Verhältniß der Länge im umgekehrten Verhältniß des Durchmessers zu. Der Coefficient des Widerstandes scheint für das Ausströmen des Wassers constant zu sein, die Beschaffenheit des Widerstandes, welche ihn bildet, sei übrigens, welche sie wolle. Es wäre daher wichtig, zu untersuchen, ob diese Gesetze sich auch auf das Ausströmen der warmen Luft anwenden lassen.

Meine Apparate waren nicht dazu geeignet, den Widerstand von P — p unmittelbar zu messen, denn da diese Menge sehr gering ist, so würden Queckſilber- oder Wasser-Manometer nicht hinlängliche Veränderungen gezeigt haben, um eine hinreichende Annäherung zu geben. Uebrigens müßte auch einer von den Schenkeln des Manometers in der Esse stehen, und es würde schwierig sein, die Veränderungen der Temperatur zu berücksichtigen. Ich habe mich, wie schon bemerkt worden, darauf beschränkt, die mittlern Geschwindigkeiten zu messen. Man muß daher, um die oben ausgesprochenen Gesetze zu verificiren, die mittlere Geschwindigkeit in Beziehung auf den Widerstand ausdrücken, die constanten Mengen, die er enthält, mittelst einer gewissen Anzahl von Versuchen bestimmen, und sehen, ob die Formel den übrigen Beobachtungen entspricht.

Wir wollen daher zuvörderst die Geschwindigkeit an der Mündung suchen. Nach dem Obigen wird diese Geschwindigkeit durch $\sqrt{2gp}$ ausgedrückt, wobei p in warmer Luft unter dem atmosphärischen Druck geschätzt wird. Wir haben daher

$$v = \sqrt{2gp}. \quad (A)$$

Da aber die ausströmende Luft zusammengedrückt ist, so müßte man, genau genommen, den Factor unter dem Wurzelzeichen, durch das Verhältniß der Dichtigkeit der freien Luft zu der der warmen, unter dem atmosphärischen Druck zusammengedrückten Luft, vermehrt um p, multipliciren. Daher wird, wenn b den atmosphärischen, in warmer Luft ausgedrückten, Druck bezeichnet, die wirkliche Geschwindigkeit dargestellt werden durch

$$v = \sqrt{2gp\left(\frac{b}{b+p}\right)}.$$

Der Factor $\frac{b}{b+p}$ ist aber stets der Einheit sehr nahe, und kann daher unberücksichtigt gelassen werden. Nehmen wir z. B. an, daß die mittlere Temperatur der warmen Luft in dem Kamin 200°, und die der äußern Luft 0°, die Höhe des Kamins aber 40 Metr. betrage (Größen, die selten überschritten werden), so ist $P = 40$ Metr. $\times$ 0,00375 $\times$ 200 $=$ 300 Metr. Und der atmosphärische, in warme Luft von 200° reducirte Druck $b = 0{,}76 \times 13{,}57 \times \frac{1000}{1{,}3} \times (1 + 0{,}00375 \times 200) = 13896$ Metr. Daher übersteigt $\frac{b}{b+p}$ fast nie $\frac{13896}{13896+30}$ oder $\frac{13896}{13926}$, wovon die Quadratwurzel 0,9989 ist. P ist aber stets größer, als p; wir können daher ohne wesentlichen Fehler $\frac{b}{b+p} = 1$ annehmen, und

$V = \sqrt{2gp}$ (A) nehmen.

Wenn wir nun ferner annehmen, daß der Widerstand des Kamins die von d'Aubuisson erkannten Gesetze, die weiter oben ausgesprochen sind, befolgt, so haben wir:

$$P - p = K \frac{V^2 L}{D}; \quad (B)$$

wobei K eine constante Zahl, L die Länge des Kanals und D sein Durchmesser ist.

Diese letztere Gleichung giebt:

$$p = P - \frac{K V^2 L}{D};$$

substituirt man diesen Werth in der Gleichung (A), so folgt:

$$V^2 = 2g\left(P - \frac{K V^2 L}{D}\right);$$

und löst man diese Gleichung auf, so ist

$$V = 2g\sqrt{\frac{PD}{D + 2gLK}}. \quad (C)$$

So ist die Formel, welche die Geschwindigkeit bestimmen muß, wenn die feste Größe K gegeben ist. Dazu muß man den Werth von K aus dieser Gleichung ableiten und ihren Werth bestimmen, indem man ihn mit einer Reihe von Beobachtungen in Uebereinstimmung bringt. Die in Beziehung auf K aufgelöst'e Gleichung (C) giebt

$$K = \frac{2gPD - V^2 D}{2gV^2 L}. \quad (D)$$

Um den Werth von K zu bestimmen, habe ich die 150 Beobachtungen correspondirenden Elemente substituirt und gefunden:

1) für thönerne Essen,

$$K = 0{,}0127;$$

2) für blecherne Essen,

$$K = 0{,}0050;$$

3) für gußeiserne Essen,

$$K = 0{,}0025.$$

Die Ungleichheit der Werthe von K für die verschiedenen Substanzen hat mich in Erstaunen gesetzt, denn es scheint, daß bei dem Ausströmen des Wassers dasselbe stattfinde. Allein die Versuche sind mit Essen von gleicher Höhe, von wenig verschiedenen Durchmessern, und bei wenig verschiedenen Temperaturen vorgenommen worden. So außerordentlich daher auch dieses Resultat erscheint, so ist es doch eine beobachtete Thatsache, die ich anzunehmen gezwungen bin; und dies um so mehr, da für jedes der verschiedenen Kamine der Werth von K wenig entfernt von den mittlern Werthen war, die wir angeführt.

Eine ähnliche Verschiedenheit wurde schon 1821 von Herrn Girard, bei seinen Versuchen über die gerade Bewegung der Gase, beob-

achtet. Er fand als Coefficienten des Widerstandes der atmosphärischen Luft und des gekohlten Wasserstoffgases die Zahl 0,00223 bei einer gußeisernen Röhre von 0,081 Metr., und die Zahl 0,00323 bei einer Röhre von geschmiedetem Eisen von 0,016 Metr. Girard bemerkt darüber (Annales de Chimie, tom. 16, p. 148, und Poggendorff's Annalen II. 59):

»Diese Verschiedenheit hängt von mehrern Ursachen ab, die man leicht erkennen kann. Die erste Ursach ist der größere oder geringere Grad der Politur der innern Oberfläche der Röhre, durch welche das Wasser strömt u. s. w.«

Uebrigens scheint es, daß die Gleichheit des Widerstandes, welchen das Wasser in Röhren von verschiedenen Materien erleidet, daher rührt, daß eine flüssige Schicht an der Substanz hängen bleibt, und daß die Reibung eigentlich nur auf der Flüssigkeit selbst stattfindet. Auch verändert sich der Widerstand, sobald die Substanz der Röhre von der Flüssigkeit nicht befeuchtet werden kann. Nichts zeigt dagegen, daß alle Körper von der Luft benetzt werden, wie es bei einer großen Anzahl von dem Wasser geschieht, und daß die Reibung nur auf einer anhängenden Luftschicht geschehe. Es scheint aber im Gegentheil sehr wahrscheinlich, daß dies nicht der Fall sei, und daß die Reibung der Luft auf der Substanz der Röhre selbst stattfinde. Ist es wirklich so, dann ist es auch sehr wahrscheinlich, daß die Werthe von K nicht allein mit der Beschaffenheit des Körpers, sondern auch mit dem Zustande seiner Oberfläche wechseln.

Vergleicht man die von mir aufgestellten Werthe von K, so bemerkt man, daß der sich auf das Gußeisen beziehende kleiner, als der beim Blech ist. Und doch müßte das Blech, da es weit ebener ist, der Reibung einen geringern Widerstand entgegensetzen; ist es aber nicht möglich, daß die das Gußeisen bedeckenden Rauhheiten eine sehr dünne Luftschicht zurückbehalten, und daß in diesem Falle die Reibung wirklich auf diese unbewegliche Luftschicht stattfinde?

Nach den obigen Werthen von K sind die Formeln für die Geschwindigkeit der verbrannten Luft folgende:

$$\text{für Thon,} \quad V = 8{,}85 \sqrt{\frac{P\,D}{L + 4\,D}};$$

$$\text{für Blech,} \quad V = 14 \sqrt{\frac{P\,D}{L + 10\,D}};$$

$$\text{für Gußeisen,} \quad V = 19{,}80 \sqrt{\frac{P\,D}{L + 20\,D}}.$$

Um die Geschwindigkeit der reinen Luft zu erhalten, muß man die Coefficienten der erstern Formeln durch 0,97 multipliciren (394); alsdann erhält man für das Ausströmen der reinen Luft:

durch Thonröhren $V = 9{,}12 \sqrt{\frac{P\,D}{L + 4\,D}}$;

durch Blechröhren, $V = 14{,}43 \sqrt{\frac{P\,D}{L + 10\,D}}$;

durch gußeiserne Röhren, $V = 20{,}41 \sqrt{\frac{P\,D}{L + 20\,D}}$.

Wollte man aus diesen Formeln diejenigen deduciren, die wir in dem Text auf Seite 249 mitgetheilt haben, so muß bemerkt werden, daß das, was wir theoretische Geschwindigkeit genannt haben, keine Reibung berücksichtigt; folglich wird sie ausgedrückt durch

$$\sqrt{2\,g\,P} = 4{,}429 \sqrt{P}$$

Um daher die Factoren zu finden, die wir in der Anmerkung auf S. 249 angegeben haben, müßte man die Coefficienten der Werthe von V durch 4,429 dividiren und den Factor P unter dem Wurzelzeichen wegnehmen. Man findet alsdann:

Für verbrannte Luft.

Thon: Factor der theoret. Geschwindigkeit, $= 1{,}998 \sqrt{\frac{D}{L + 4\,D}}$;

Blech: » » » » $= 3{,}16 \sqrt{\frac{D}{L + 10\,D}}$;

Gußeisen: » » » » $= 4{,}47 \sqrt{\frac{D}{L + 20\,D}}$.

Für frische Luft.

Thon: Factor der theoret. Geschwindigkeit, $= 2{,}06 \sqrt{\frac{D}{L + 4\,D}}$;

Blech: » » » » $= 3{,}25 \sqrt{\frac{D}{L + 10\,D}}$;

Gußeisen: » » » » $= 4{,}61 \sqrt{\frac{D}{L + 20\,D}}$.

In den obigen Formeln haben wir den Coefficienten der Abkühlung K unabhängig von der Dichtigkeit angenommen; jedoch ist es nach den mit Wetteröfen mit langen Kanälen, die mit dem Aschenfall (Fig. 96) in Verbindung standen, gemachten Versuchen nicht ganz so, und die Resultate einer großen Menge von Beobachtungen, welche darthun, daß für die hohen Temperaturen die berechneten Geschwindigkeiten ein wenig kleiner, als die wirklichen sind, zeigen, daß die Reibungen wirklich mit der Dichtigkeit der Luft wechseln. Wir nehmen die obigen Berechnungen wieder auf, indem wir annehmen, daß der Coefficient der Abkühlung proportional der Dichtigkeit sei.

Die Dichtigkeit der Luft ist offenbar proportional

$$\frac{b + p}{b} \times \frac{1}{(1 + 0{,}00375 \times t)}.$$

Der großen Einfachheit wegen machen wir $0{,}00375 = m$; demnach ist der Factor, durch welchen man K multipliciren muß:

$$\frac{b + p}{b} \times \frac{1}{1 + m\,t}.$$

Da nun der Factor $\frac{b + p}{b}$ stets der Einheit sehr nahe steht, wie schon oben gezeigt wurde, so bleibt $\frac{1}{1 + m\,t}$, mit welchem man den Factor K in der Gleichung (C) multipliciren müßte.

Wir werden alsdann haben:

$$V = \sqrt{2g}\sqrt{\frac{P\,D}{D + \frac{2g\,K\,L}{1 + m\,t}}}$$

$$= \sqrt{2g}\sqrt{\frac{1}{2g\,k}}\sqrt{\frac{P\,D\,(1 + m\,t)}{L + \frac{(1 + m\,t)\,D}{2g\,K}}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{K}}\sqrt{\frac{P\,D\,(1 + m\,t)}{L + \frac{(1 + m\,t)\,D}{2g\,K}}}.$$

Bei der Vergleichung von mehr als 400 Beobachtungen fand ich, daß die mittlere Temperatur derjenigen, welche am besten mit den obigen Formeln übereinstimmen, mit der warmen Luft gemacht worden sind, bei einer Temperatur

von 100° für Thon;
von 150° für Blech;
von 125° für Gußeisen.

Demnach betragen die Werthe von K, für die Luft von der Temperatur von 0°:

für Thon, $0{,}0127\,(1 + 0{,}00375 \times 100) = 0{,}0175$;
für Blech, $0{,}0050\,(1 + 0{,}00375 \times 100) = 0{,}0078$;
f. Gußeisen, $0{,}0025\,(1 + 0{,}00375 \times 100) = 0{,}0036$.

Berechnet man nun $\sqrt{\frac{1}{K}}$ und $\frac{1}{2g\,K}$, so findet man folgende Formeln:

für Thon, $V = 7{,}55\sqrt{\frac{P\,D\,(1 + m\,t)}{L + 2{,}91\,D\,(1 + m\,t)}}$;

für Blech, $V = 11{,}33\sqrt{\frac{P\,D\,(1 + m\,t)}{L + 6{,}53\,D\,(1 + m\,t)}}$;

für Gußeisen $V = 16{,}66 \sqrt{\frac{P D (1 + m t)}{L + 14{,}16 D (1 + m t)}}$.

Zweite Anmerkung.

Entwickelung der Formeln für die Geschwindigkeit an der Oeffnung einer an der Mündung befindlichen Blendung.

Wir sahen in der ersten Anmerkung, daß der Widerstand $P - p$ einer Esse dargestellt werde durch:

$P - p = K \frac{V^2 L}{D}$, und daß die Geschwindigkeit $V = \sqrt{2 p g}$,

in dem Falle, daß die Esse cylindrisch und durch keine Blendung verengt sei. Nehmen wir nun an, daß die obere Oeffnung durch eine dünne Wand gebohrt sei und den Durchmesser d habe, so wird die Geschwindigkeit in der Röhre statt $V = V \frac{d^2}{D^2}$, 0,65 sein; und der Widerstand $P - p$, welcher dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist,

$$P - p = K \frac{V^2 d^4 (0{,}65)^2 L}{D^5}.$$

Diese Gleichung giebt $p = P - \frac{K V^2 L (0{,}65)^2 d^4}{D^5}$; substituirt man nun diesen Ausdruck in dem Werthe von V, so kommt:

$$V^2 = 2 g \left\{ P - \frac{K V^2 L (0{,}65)^2 d^4}{D^5} \right\};$$

und löst man diesen Ausdruck in Beziehung auf V auf, so erhält man:

$$V = \sqrt{\frac{2 g P D^5}{D^5 + K L 2 g (0{,}65)^2 d^4}}$$

$$= \sqrt{2 g} \sqrt{\frac{1}{2 g K (0{,}65)^2 d^4}} \sqrt{\frac{P D^5}{L + \frac{D^5}{2 g K (0{,}65)^2 d^4}}}$$

$$= \frac{1}{d^2} \cdot \frac{1}{0{,}65} \sqrt{\frac{1}{K}} \sqrt{\frac{P D^5}{L + \frac{1}{2 g K (0{,}65)^2} \frac{D^5}{d^4}}}.$$

Für die Kamine von Ziegelsteinen $K = 0{,}0127$; folglich $\sqrt{\frac{1}{K}} = 8{,}85$, und $\frac{1}{2 g k} = 4$. Demnach wird die Formel:

$$V = \frac{1}{d^2} \cdot \frac{1}{0{,}65} \cdot 8{,}85 \sqrt{\frac{P D^5}{L + 4 \cdot \frac{1}{0{,}65^2} \cdot \frac{D^5}{d^4}}}.$$

Man wird leicht einsehen, daß V zunimmt in dem Maaße, daß $\frac{D}{d}$ größer wird, und daß man zuletzt $V = \sqrt{2\,g\,P}$, d. h. die theoretische Geschwindigkeit erhält. Ist nun D im Verhältniß zu d sehr groß, so könnte man L in Beziehung auf das zweite Glied des Nenners der Wurzelgröße unberücksichtigt lassen. Der Factor D^5 verschwindet alsdann und es folgt:

$$V = \frac{1}{d^2}\,\frac{1}{0{,}65}\,8{,}85\,\sqrt{\frac{P}{\frac{4}{d^4\,(0{,}65)^2}}} = 8{,}85\,\sqrt{\frac{P}{\frac{1}{2\,g\,K}}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{K}}\,\sqrt{2\,g\,K\,P} = \sqrt{2\,g\,P}.$$

Wäre die Oeffnung cylinderförmig, so müßte man statt 0,65 0,93 nehmen, und 0,95, wenn sie sich erweiterte. Für Röhren von Blech und Gußeisen endlich mußte man die sich auf diese Substanzen beziehenden Werthe von K nehmen. Auf diese Weise sind die Formeln in der Anmerkung auf Seite 257 bestimmt worden.

Dritte Anmerkung.

Bewegungen der kalten Luft in Leitungsröhren.

Wir wollen den Stand des Manometers oder Windmessers am Anfange der Röhre
mit H bezeichnen;
mit h dieselbe Höhe am Ende der Leitungsröhre;
mit b die Barometerhöhe;
mit t die Angabe des Thermometers;
mit T, $1 + 0{,}004\,t$;
mit D den Durchmesser der Röhre;
mit d den der Deupenöffnung;
mit V die Geschwindigkeit an der Mündung.

Bei der Temperatur von 0° und bei einem Barometerdruck von 0,76 Metr. ist das Verhältniß der Dichtigkeit des Queckſilbers zu dem der Luft 10467. Das Verhältniß der Dichtigkeit des Queckſilbers zur ausströmenden Luft ist folglich:

$$10467 \times \frac{0{,}76 \times T}{b + h}.$$

Wird die flüssige Ader durch einen kurzen Ansatz auf 0,93 Metr. zusammengezogen, so wird die Geschwindigkeit des Ausströmens sein:

$$V = 0{,}93 \text{ Metr.} \sqrt{2\,g\,h.\ 10467 \times \frac{0{,}76 \times T}{b + h}},$$

weil die Höhe h in Luft von der Temperatur und dem Druck der ausströmenden geschätzt werden muß. Zieht man die Quadratwurzel aus den unter dem Wurzelzeichen stehenden Zahlen, so wird die Formel:

$$V = 367 \text{ Metr.} \sqrt{h. \frac{T}{b + h}}. \quad (a)$$

Diese Formel giebt die Geschwindigkeit am Ende der Röhre. Ist sie mit einer Deupe versehen, so erhielte man, wenn die Geschwindigkeit in der Röhre im umgekehrten Verhältnisse zu den Durchschnitten oder den Quadraten der Durchmesser stehen,

$$V = 367 \text{ Metr.} \frac{d^2}{D^2} \sqrt{h. \frac{T}{b + h}}; \quad (b)$$

und wenn man die mittlere Geschwindigkeit von der ganzen Länge der Röhre haben wollte, so müßte man die erste Formel mit dem umgekehrten Verhältnisse der mittlern Dichtigkeit zu der Dichtigkeit an der Mündung multipliciren, weil auf der ganzen Länge der Röhre die Geschwindigkeiten im umgekehrten Verhältnisse zu der Dichtigkeit stehen. Oder da die mittlere Dichtigkeit offenbar proportional $b + \frac{H + h}{2}$ und die Dichtigkeit am Ende $b + h$ ist, so wird die mittlere Geschwindigkeit sein:

$$V = 367 \frac{d^2}{D^2} \sqrt{h. \frac{T}{b + h}} \times \frac{b + h}{b + \frac{H + h}{2}}. \quad (1)$$

Indem Herr d'Aubuisson diese Formel bei einer großen Menge von Beobachtungen anwendete, fand er den Widerstand $H - h$ proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit.

Da nun andere Versuche gezeigt haben, daß der Widerstand proportional der Länge der Röhre sei und im umgekehrten Verhältnisse zum Diameter stehe, so erhält man:

$$H - h = N. \frac{L. V^2}{D}. \quad (2)$$

Substituirt man in diesem Ausdrucke den in der Gleichung (b) gegebenen Werth von V, so folgt:

$$H - h = \frac{N\,L\,d^4\,h\,T}{D^5\,(b + h)}.$$

N ist eine wirkende Ursach, die man durch Versuche bestimmen muß. Die Vergleichung von mehr als 400 Beobachtungen hat

$$N = 0{,}01603 \text{ gegeben.}$$

Herr d'Aubuisson fügt hinzu, daß dieser Coefficient allen Arten von Röhren anzugehören scheine, in Rücksicht, daß die Erfahrung bewie-

sen, daß die Bewegung des Wassers denselben Widerstand in Röhren von Gußeisen, Thon, Blei und Holz erleide. Ich bin aber der Meinung, daß dies nicht der Fall sei.

Demnach hat man also entschieden:

$$H - h = 0{,}016 \frac{L\, d^4\, h\, T}{D^5 (b + h)}.$$

Diese Gleichung giebt:

$$h = \frac{H}{0{,}016 \frac{L\, d^4\, T}{D^5 (b + h)} + 1}. \quad (3)$$

Ins zweite Glied müßte man h als Annäherung setzen. In fast allen Fällen aber hat das Verhältniß $\frac{T}{b + h}$ einen wenig verschiedenen Werth, den man hier substituiren kann. In den Bergwerken von Rancié war das mittlere $b = 0{,}6802$, $T = 1{,}045$, und $h = 0{,}0223$: man hat alsdann:

$$h = \frac{H}{0{,}0238 \frac{L\, d^4}{D^5} + 1}.$$

Oben fanden wir für die Geschwindigkeit an der Mündung:

$$V = 367 \sqrt{h. \frac{T}{b + h}}:$$

multiplicirt man selbige mit $\frac{\pi\, d^2}{4}$, so erhält man die ausgeströmte Menge. Bezeichnet man sie mit Q, so erhält man:

$$Q = 289\, d^2 \sqrt{h. \frac{T}{b + h}}.$$

In der Praxis kann man für den Factor $\frac{T}{b + h}$ eine constante Zahl substituiren. In unsern Hütten wechselt er nur von 1,28 bis 1,40, seine Quadratwurzel daher nur von 3,13 bis 1,18, weshalb man die mittlere Größe $\frac{1{,}28 + 1{,}40}{2} = \frac{2{,}68}{2} = 1{,}34$ annehmen kann. Folglich kann man statt 289 den Factor 334 substituiren, und erhält dann:

$$Q = 334\, d^2 \sqrt{h.}$$

Diese Formel giebt keinen Irrthum von drei Hunderttheilen. Aus dieser Gleichung folgt der Werth von Q, in Beziehung auf h. Wollte man ihn in Beziehung auf H haben, so müßte man bei der Formel der Geschwindigkeit, den in der Gleichung (3) gegebenen Werth von h substituiren, und setzt man für $\frac{T}{b + h}$, 1,34, so kommt:

$$Q = 22791 \sqrt{\frac{H\ D^5}{L + 47\ \frac{D^5}{d^+}}}.$$

Wäre die Leitung an ihrem Ende offen, so würde man d = D haben, und da keine Zusammenziehung der flüssigen Ader stattfindet, so muß der Coefficient in dem Verhältnisse von 1 zu 0,93 vermehrt werden.

Man erhält alsdann:

$$Q = 2450 \sqrt{\frac{H\ D^5}{L + 47\ D}}.$$

Wendet man das Wasser-Manometer an, so würde man haben:

$$Q = 664 \sqrt{\frac{H\ D^5}{L + 47\ D}}.$$

Eytelwein giebt für das Ausströmen des Wassers aus Röhren u. s. w. an:

$$Q' = 20{,}8 \sqrt{\frac{H\ D^5}{L + 54\ D}};$$

eine Formel, die von der vorigen fast nur durch den constanten Factor verschieden ist.

Bei gleichem Druck verhält sich das Ausströmen zweier Flüssigkeiten im Wesentlichen, wie die Coefficienten dieser Formeln, und folglich, wie 31,9 zu 1,0. Es würde 29,7 zu 1,0 betragen, wenn der Coefficient von Q nicht, in Folge des Mangels der Verengung des flüssigen Strahls, vermehrt worden wäre. Das durch die Quadratwurzeln der Dichtigkeit angegebene Verhältniß, welches in dem Falle, daß die beiden Flüssigkeiten gleichen Gesetzen des Widerstandes unterworfen gewesen, hätte befolgt werden müssen, ist = 29 zu 1.

Vierte Anmerkung.

Bestimmung der Temperatur der Luft an der Mündung einer Esse.

Wir wollen eine senkrechte cylinderförmige Esse annehmen, die in eine Reihe paralleler Schnitte von geringer Stärke getheilt worden ist, so daß man die Temperatur der Luft, während der ganzen Zeit, daß sie die Höhe durchströmt, als constant ansehen kann. Es sei L die Höhe der Esse, l die eines Schnittes, und n deren Zahl: man hat alsdann $L = nl$.

Es sei T der Ueberschuß der Temperatur der warmen Luft, am untern Ende der Esse, über die der äußern Luft, eine Temperatur, die

man für die ganze Länge l des ersten Schnitts als constant ansehen muß; es seien ferner T_2, T_3, u. s. w. $T_{(n)}$ die Ueberschüsse der Temperaturen bei den folgenden Schnitten, über die der äußern Luft.

Es ist klar, daß der Wärmeverlust von dem ersten bis zum zweiten Schnitt $= T_1 - T_2$ und für die Einheit der Länge $= \frac{T_1 - T_2}{l}$ sein wird. Aber dieser Wärmeverlust ist proportional dem mittlern Ueberschuß $\frac{T_1 + T_2}{2}$ der Temperatur der warmen Luft. Folglich werden wir die Gleichung $\frac{T_1 - T_2}{l} = \frac{a}{2}(T_1 + T_2)$ haben.

Ist a der durch Versuche bestimmte constante Coefficient, so giebt diese Gleichung

$$T_2 = T_1 \left(\frac{1 - {}^1/_2\ a\,l}{1 + {}^1/_2\ a\,l}\right).$$

Für die folgenden Schnitte findet man ebenso:

$$T_3 = T_2 \left(\frac{1 - {}^1/_2\ a\,l}{1 + {}^1/_2\ a\,l}\right);$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{1 - {}^1/_2\ a\,l}{1 + {}^1/_2\ a\,l}\right);$$

.....

$$T_{(n)} = T_{(n-1)} \left(\frac{1 - {}^1/_2\ a\,l}{1 + {}^1/_2\ a\,l}\right).$$

Multiplicirt man alle diese Gleichungen mit einander, so kommt:

$$T_{(n)} = T_1 \left(\frac{1 - {}^1/_2\ a\,l}{1 + {}^1/_2\ a\,l}\right)^n.$$

Diese Gleichung giebt:

$$n = \frac{\text{Log. } T_{(n)} - \text{Log. } T_1}{\text{Log. } (1 - {}^1/_2\ a\,l) - \text{Log. } (1 + {}^1/_2\ a\,l)}.$$

Da aber $L = n\,l$, so hat man:

$$L = \frac{l}{\text{Log. } (1 + {}^1/_2\ a\,l) - \text{Log. } (1 - {}^1/_2\ a\,l)} (\text{Log. } T_1 - \text{Log. } T_{(n)}).$$

In dem Vorhergehenden haben wir angenommen, daß die Temperatur-Veränderungen in gleichen Distanzen von l plötzlich abgebrochen stattfinden; allein die Veränderungen sind wirklich ununterbrochen, d. h. l ist unendlich klein. Wir erhalten daher die, den auf einander folgenden Temperatur-Veränderungen correspondirende, Gleichung, wenn wir in derselben $l = 0$ machen. Allein man muß es unter eine andere Form bringen, denn macht man l unmittelbar $= 0$, so würde man $L = \%$ finden. Dieser unbestimmte Werth kommt daher, daß der Nenner den Factor l folgerungsweise enthält, weshalb man ihn entfernen muß. Deshalb bemerken wir, daß man hat:

$$\text{Log. } (1 + {}^1/_2 \text{ a l}) = \frac{1}{M} ({}^1/_2 \text{ a l}) - \frac{1}{2M} ({}^1/_2 \text{ a l})^2 + \frac{1}{3M} ({}^1/_2 \text{al})^3 - \text{etc.}$$

$$-\text{Log. } (1 - {}^1/_2 \text{ al}) = \frac{1}{M} ({}^1/_2 \text{ a l}) + \frac{1}{2M} ({}^1/_2 \text{ a l})^2 + \frac{1}{3M} ({}^1/_2 \text{ a l})^3 + \text{etc.}$$

Wenn M der Modulus der gewöhnlichen Tafeln, d. h., die Zahl 2,302585 ist, und man substituirt diese Werthe in der vorhergehenden Gleichung, so kommt:

$$L = \frac{1}{\frac{l}{M}\left\{a + \frac{l^2}{3 \cdot 4} a^3 + \frac{l^4}{3 \cdot 8} a^5 + \text{etc.}\right\}} (\text{Log. } T_1 - \text{Log. } T_{(n)}).$$

Entfernt man den gewöhnlichen Factor l und macht $l = 0$, so kommt:

$$L = \frac{M}{a} (\text{Log. } T_1 - \text{Log. } T_{(n)}),$$

woraus man zieht

$$\text{Log. } T_{(n)} = \text{Log. } T_1 - \frac{a}{M} L. \quad (1)$$

Dies ist die Gleichung, welche den Werth $T_{(n)}$ giebt, wenn man a kennt.

Diese Größe hängt von der Geschwindigkeit der Luft, von dem Durchmesser der Esse, von der Stärke ihrer Wände und von der Beschaffenheit des Materials ab, aus welchem sie bestehen. Demnach ist

$$a = H \times \frac{1}{D\ E\ V}.$$

H ist der constante Coefficient, D der Durchmesser, E die Dicke der Wände der Esse und V die Geschwindigkeit. Die allgemeine Formel ist daher:

$$\text{Log. } T_{(n)} = \text{Log. } T_1 - \text{Log. } T_{(n)} \frac{M\ D\ E\ V}{L} \quad (1).$$

Dies ist die Gleichung, welche zur Bestimmung von $T_{(n)}$ dient. Wenn der Coefficient H durch Versuche bestimmt worden, so ist der Werth von

$$H = (\text{Log. } T_1 - \text{Log. } T_{(n)}) \frac{M\ D\ E\ V}{L}.$$

Die Vergleichung von mehr als 300 Versuchen gaben mir für Thon von einem Centimeter Stärke

$$H = 0{,}00014;$$

für Blech von einem halben Millimeter Stärke, wenn man den Factor E weglässt, da man, wegen des großen Leitungsvermögens des Blechs, den E proportionalen Wärmeverlust nicht annehmen kann, beträgt

$$H = 0{,}0310;$$

und für das Gußeisen von einem Centimeter Stärke, wenn man den Factor E ebenfalls unberücksichtigt läßt, ist

$$H = 0{,}0559.$$

Demnach sind die Formeln:

Für thönerne Essen,

$$\text{Log. } T_{(n)} = \text{Log. } T_1 - \frac{0{,}000140\ L}{M\ D\ E\ V} = \text{Log. } T_1 - \frac{0{,}000061\ L}{D\ E\ V};$$

Für Blech,

$$\text{Log. } T_{(n)} = \text{Log. } T_1 - \frac{0{,}031\ L}{M\ D\ V} = \text{Log. } T_1 - \frac{0{,}0135\ L}{D\ V};$$

Für Gußeisen,

$$\text{Log. } T_{(n)} = \text{Log. } T_1 - \frac{0{,}0559\ L}{M\ D\ V} = \text{Log. } T_1 - \frac{0{,}02430\ L}{D\ V}.$$

Da diese Formeln das oft unbekannte V enthalten, so habe ich bei meinen Versuchen seinen mittlern Werth substituirt, und habe annähernde Formeln erhalten, die mit den Beobachtungen hinlänglich übereinstimmen, und welche weit eher gebraucht werden können, als die erstern.

Diese Formeln sind:

Für thönerne Essen von 1 Centimeter Stärke,

$$\text{Log. } T_{(n)} = \text{Log. } T_1 - 0{,}0000941\ \frac{L}{D\ E};$$

Für blecherne Essen von $^1/_2$ Millimeter Stärke,

$$\text{Log. } T_{(n)} = \text{Log. } T_1 - 0{,}0041\ \frac{L}{D};$$

Für gußeiserne Essen von 1 Centimeter Stärke,

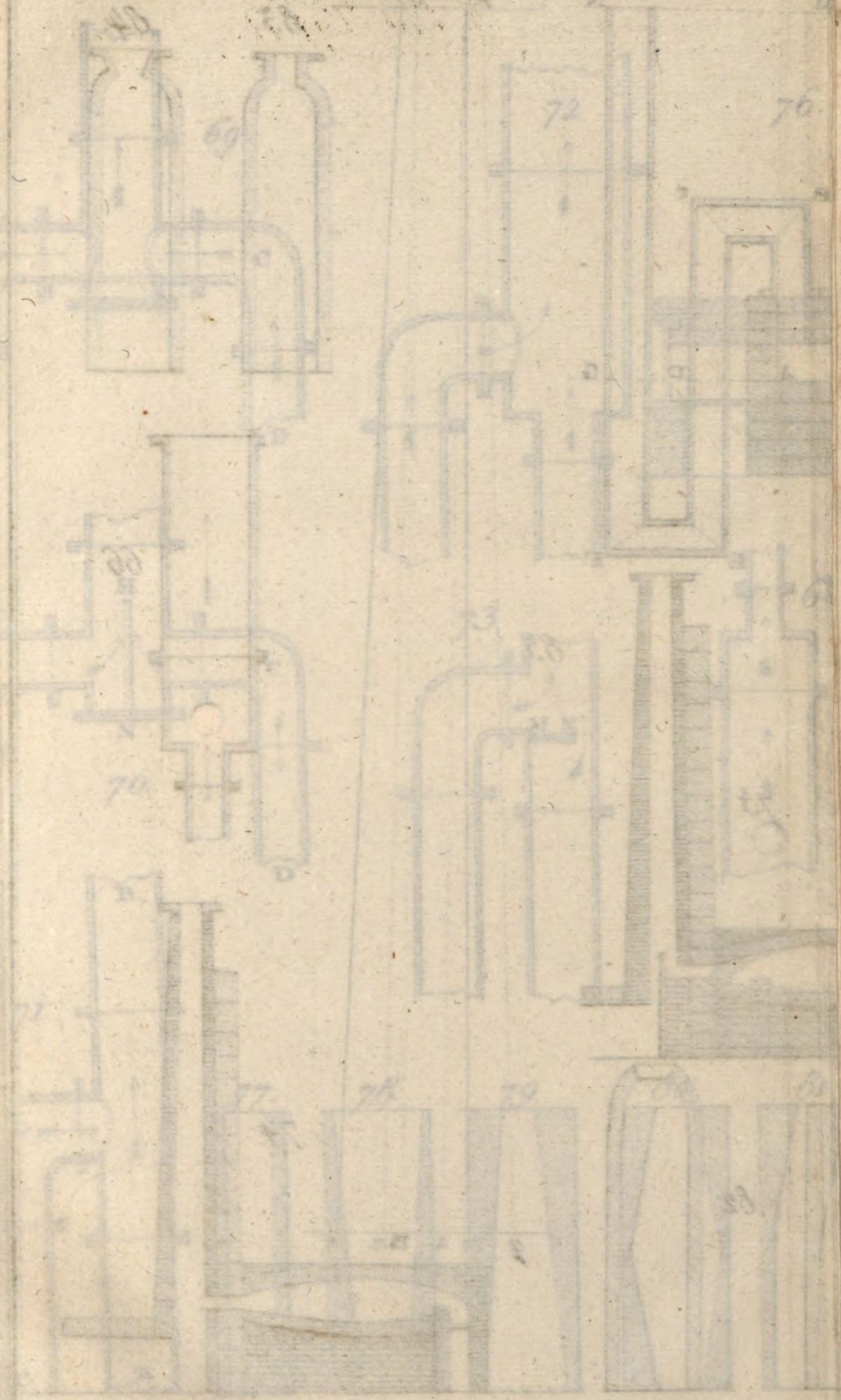
$$\text{Log. } T_{(n)} = \text{Log. } T_1 - 0{,}0054\ \frac{L}{D}.$$

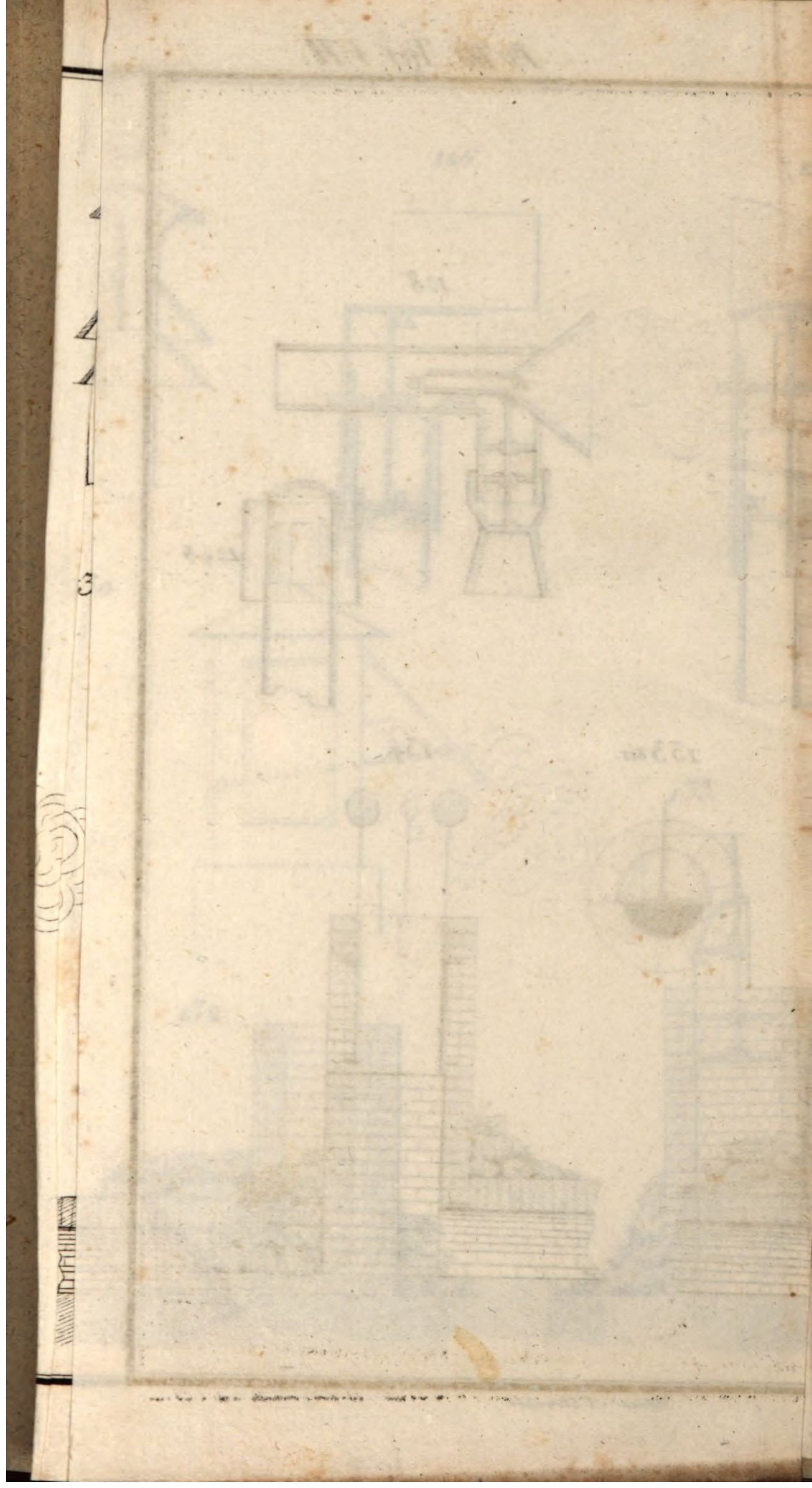
Die mittlere Geschwindigkeit in der Esse von Thon war = 1,50 Metr., die in einem blechernen = 3,30 Metr. und die in einem gußeisernen 4,50 Metr.

Bayerische Staatsbibliothek München

Bayerische
Staatsbibliothek
München

B
C
M
P
C
B
A
43 bis
a
B





BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Péclet, Eugène,

Ueber die Wärme und deren Verwendung in den Künsten und Gewerben ein vollständiges und nöthiges Handbuch für Physiker, Technologen, Fabrikanten, Mechaniker, Architekten, Forst- und Hüttenmänner etc
Bd.: Erster Theil

Braunschweig 1830

BHS II H 79-1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10707550-0